

ЗЕМЛЯ И

астрономия
геофизика
космонавтика

№5 (359)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2024

ISSN 0044-3948

ВСЕЛЕННАЯ



Достижение нейтрального баланса деградации земель Что было и что будет с ледником Алибек?

ЛЕОНИД КСАНФОМАЛИТИ: ИДУ НА ГРОЗУ

СИНИЕ ВСПЫШКИ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ

ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ОФН: ЗАДАЧИ И ОТВЕТЫ



НАУКА

— 1727 —

ПОДПИШИТЕСЬ НА ЖУРНАЛЫ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»

печатные и электронные версии

В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ NAUKABOOKS.RU

- ⇒ Зайдите на сайт.
- ⇒ Выберите журнал.
- ⇒ Укажите контактные данные получателя.
- ⇒ Оплатите заказ онлайн.

Отдельные номера журналов можно купить
в магазине «Академкнига» по адресу:
г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1.



ПО E-MAIL И ТЕЛЕФОНУ

journals@naukapublishers.ru или +7(495) 276-77-35

Сообщите, на какие журналы вы хотите подписаться, а также
свои контактные данные. Менеджер поможет оформить подписку.

ЧЕРЕЗ ПОДПИСНЫЕ АГЕНТСТВА



Почта России podpiska.pochta.ru
Урал-Пресс ural-press.ru
Пресса России pressa-rf.ru
ПрессИнформ presskiosk.ru
Ивис ivis.ru НЭБ elibrary.ru

На странице журнала
размещена информация
о его стоимости и условиях
доставки

Обязательно проверьте,
что правильно указали
контактные данные
получателя

ЗЕМЛЯ И

№5 (359)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2024

ISSN 0044-3948

астрономия
геофизика
космонавтика

ВСЕЛЕННАЯ

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва



Лауреат Белявской премии
2023 г.

На обложке:

Район перед ледником Алибек на
Западном Кавказе в долине реки
Теберда.
Фотография И. С. Бушуевой, 2009

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора	3
КУСТ Г.С., АНДРЕЕВА О.В., ЛОБКОВСКИЙ В.А. Достижение нейтрального баланса деградации земель – путь преодоления тихого кризиса планеты	5
БУШУЕВА И.С. Что было и что будет с ледником Алибек?	18

Космическое образование

Четвертая Всероссийская викторина ОФН. Задачи. Окончание	22
---	----

Люди науки

КОРОСТЕЛЕВ С.Г. Леонид Ксанфомалити: Иду на грозу	26
ИПАТОВ С.И. Вклад Т.М. Энеева в планетную космогонию	60

Любительская астрономия

СОЛОМОНОВ Ю.В., ГЕРАСЮТИН С.А. Незаметная Рысь	67
ОЩЕПКОВ М.Ю. Синие вспышки красных карликов	76

Коротко и интересно

<i>Europa Clipper</i> стартовал к системе Юпитера	86
На Марсе нашли воду под поверхностью	88

Литературный космос

МАРУСЕВ А.С., ГАЧЕВА А.Г., ДУНАЕВА А.Ю. Русский космизм в музыке: «Былина о Святогоре»	90
---	----

Космическое образование

Четвертая Всероссийская викторина ОФН. Ответы. Окончание	93
Резолюция Третьей международной конференции «Дорога в космос»	110
Table of Content	115

© Российская академия наук, 2024

© Редколлегия журнала «Земля и Вселенная» (составитель), 2024

© ФГБУ «Издательство «Наука», 2024

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЕНЬИЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
член-корр. РАН
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
член-корр. РАН
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЕВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
О.Н. СОЛОМИНА,
академик В.А. СОЛОВЬЕВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Dr. Olga Yu. LAVROVA
RAS Corr. Member Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr. Member Dr. Igor D. NOVIKOV
RAS Corr. Member Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Olga N. SOLOMINA
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Дорогие читатели, коллеги, друзья!

С удовольствием представляю приглашенного редактора пятого номера «ЗиВ» 2024 года, который уже традиционно посвящен «земным вопросам», – члена-корреспондента РАН Ольгу Николаевну Соломину. Постоянные читатели «Земли и Вселенной» помнят ее вступительные статьи, которые предваряли «земные номера» 2021 и 2023 годов.

*Главный редактор
журнала «Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный*

Незаметно для себя в последние десятилетия самые обычные люди начали мыслить в планетарном масштабе. Это – одна из новых характеристик современной эпохи. Произошло это, по-видимому, из-за развития интернет-коммуникаций и доступности информации самого широкого спектра. Человек теперь чувствует себя информированным о событиях, которые происходят на другом конце планеты, и, как следствие, невольно сопричастным к ним и даже их соучастником, особенно когда речь идет о событиях и процессах, которые могут оказать глобальное влияние на судьбы человечества.

Этот выпуск «Земли и Вселенной» открывается статьей, посвященной од-

ной из таких проблем – катастрофической утрате земельных ресурсов, которая происходит на нашей планете в последнее столетие. Авторы статьи Г.С. Куст, О.В. Андреева и В.А. Лобковский называют опустынивание «тихим кризисом нашей планеты» и обсуждают возможные пути его преодоления. Опустынивание и деградация земель здесь трактуются широко и включают все экологические процессы, происходящие внутри геосистем, подвергающихся деградации. В статье обсуждается, как мировое сообщество реагирует на эти проблемы и пытается их решать, что такое концепция «нейтрального баланса деградации земель», как этот показатель рассчитывается в разных странах и почему необходимо



обеспечить единый подход при оценке деградированных земель. Важнейшую роль в получении объективных данных о распространении и степени деградации земель играют сейчас методы дистанционного зондирования Земли, которые делают результаты верифицируемыми, а договоренности об универсальных показателях, которые будут использовать разные страны для своих оценок, принципиально достижимыми.

Тема второй статьи в этом номере журнала также связана с изменениями климата и водными ресурсами и посвящена она идущей быстрыми темпами деградации горных ледников на примере одного, но очень известного любителям гор ледника Алибек в долине реки Теберда на северном Кавказе («Лыжи у печки стоят» помните? Это примерно там). И.С. Бушуева – автор статьи – показывает, что с начала XX в. до 2023 г. ледник сократился почти на километр, и вот-вот из долинного превратится в каровый. Несмотря на то, что площади горных ледников относительно небольшие, они очень важны как регуляторы водного баланса рек, которые из них вытекают и используются населением, живущим далеко за пределами нивально-гляциальной зоны.

О воде речь идет и еще в одной в заметке, причем о воде на Марсе. Астрономы из университета в Беркли (США), основываясь на данных посадочного модуля NASA *InSight*, сделали вывод, что на Марсе, под поверхностью планеты, есть жидкая вода. В разделе новостей вы также найдете интересную информацию о запуске автоматической станции для исследования Европы – спутника Юпитера, на которой исследователи надеются найти следы жизни, также в жидком океане, который прячется под толстым ледяным панцирем.

Две большие и очень интересные статьи составляют раздел «Люди науки». Первая из них – статья С.Г. Коростелева посвящена работам заведующего лабораторией фотометрии и инфракрасной радиометрии Института космических исследований (ИКИ) АН СССР Леони-

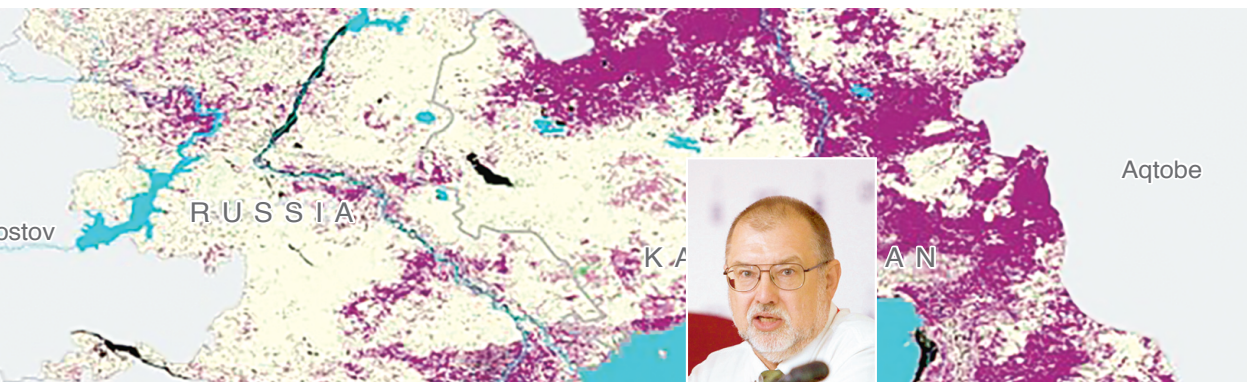
да Васильевича Ксанфомалити, который изучал электрическую активность атмосферы Венеры. Статья недаром называется «Иду на грозу» и отсылает нас к известному и очень популярному в 1960–1970-х гг. роману Даниила Гранина, к тому романтическому времени, когда физики были «в почете» и с их открытиями связывались надежды человечества. Обращаю внимание на приведенную в статье обложку журнала «Земля и Вселенная» (1979, № 4), на которой изображен десантный аппарат «Венера-12», регистрирующий вспышки венерианских молний – прекрасный образец полиграфического стиля того времени. Вторая статья в этом разделе рассказывает о работах исследователя того же поколения – Тимура Магомедовича Энеева, который в середине 1970-х гг. предложил новую модель образования планет Солнечной системы. Интересно, что автор статьи С.И. Ипатов, который был учеником Т.М. Энеева, не вполне разделял взгляды своего учителя.

В разделе «Любительская астрономия» читатели найдут две интересные статьи Ю.В. Соломонова о созвездии Рыси и М.Ю. Ощепкова о вспышках красных карликов.

Особенностью этого номера является подборка вопросов и ответов Викторины, которую Отделение физических наук РАН проводит для школьников уже в пятый раз. Вопросы составлены известными российскими физиками и астрономами. Они непростые и интересные и, я уверена, заинтересуют школьников и просто любителей астрономии. Мы часто с сожалением отмечаем, что время интереса к науке прошло и новые поколения предпочитают трудам ученого более «земные» ценности, но, мне кажется, нельзя оставлять попыток заинтересовать молодых людей естественными науками: астрономией, физикой, геологией, географией, – и, по-моему, журнал «Земля и Вселенная» выполняет эту миссию достойно.

*Ольга Николаевна Соломина,
член-корреспондент РАН,
директор Института географии РАН*

ДОСТИЖЕНИЕ НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ – ПУТЬ ПРЕОДОЛЕНИЯ ТИХОГО КРИЗИСА ПЛАНЕТЫ



КУСТ Герман Станиславович,
доктор биологических наук

АНДРЕЕВА Ольга Валентиновна,
кандидат биологических наук

ЛОБКОВСКИЙ Василий Анатольевич,
кандидат географических наук
Институт географии РАН



DOI: 10.7868/S0044394824050013

Нейтральный баланс деградации земель (НБДЗ) – это такое состояние, когда количество здоровых и продуктивных земельных ресурсов, необходимое для поддержания жизненно важных экосистемных услуг и укрепления продовольственной безопасности, остается стабильным или увеличивается в определенных масштабах времени и пространства (определение, утвержденное в 2015 году на 15 конференции сторон Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН)).

Земля означает земную биопродуктивную систему, включающую в себя почву, воду, растительность, прочую биомассу, а также экологические и гидрологические процессы, происходящие внутри системы (из статьи 1 КБО ООН).

Проблема деградации земель (и опустынивания как наиболее негативной формы в хрупких ландшафтах) стала особо остро ощущаться в XX столетии. Исследование этой проблемы на рубеже XIX–XX вв. послужило отправной точкой для работ великого русского ученого В.В. Докучаева и создания на их основе современного почвоведения. Отталкиваясь от работ выдающегося эколога Лестера Брауна (Lester Brown) и анализируя состояние почвенно-земельных ресурсов мира в целом и причины снижения их природного потенциала, в 1996 г. Г.В. Добровольский и Г.С. Куст назвали эту проблему тихим кризисом планеты. Этот кризис проявляется в том, что нерациональное использование и освоение природных ресурсов во многих регионах земного шара в форме чрезмерного выпаса, обезлесения, неконтролируемой распашки и неудовлетворительного орошения, загрязнения земель различными поллютантами, ведут к их разрушению в формах физической, химической и биологической деградации, и в конечном итоге – потере биологической продуктивности. В условиях потепления климата и усиливающейся техногенной нагрузки на природные системы при одновременном росте населения, особенно в развивающихся странах, сокращение продуктивных земель с высокой вероятностью приведет к продовольственному, миграционному, и в конечном итоге – экономическому кризису в глобальном масштабе. Впервые опустынивание как крайняя форма деградации земель было официально признано в числе важнейших проблем окружающей среды на Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды в 1972 г. в Сток-

гольме (Швеция). Продолжительная и трагическая Судано-Сахельская засуха (перманентная катастрофа этого региона) 1968–1973 гг. в Африке и голод (погибло от 100 до 250 тыс. человек и более 1 млн скота) подтолкнула мировое сообщество к необходимости решения проблемы деградации земель на глобальном уровне.

В 1974 г. по решению Генассамблеи ООН для обобщения и глубокого анализа негативных последствий жизнедеятельности в хрупких аридных регионах ряда стран в Найроби (Кения) прошла Конференция ООН по опустыниванию. Конференция впервые подтвердила итоги глобальной оценки деградации земель и приняла программу действий по борьбе с опустыниванием. К 1977 г. площадь земель, подверженных опустыниванию в средней и сильной степени составляла 27.1 млн га орошаемых земель (21% их общей площади), 173.1 млн га богарных земель (77%), 3071.6 млн га пастбищных земель (82%). 15 лет спустя, в 1992 г., мировое сообщество с сожалением признало, что ситуация существенно не изменилась, программа действий не выполнена, и по итогам Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (Бразилия) было принято решение о необходимости учреждения специального международного юридического документа – соглашения в формате «Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке». Дата принятия КБО ООН – 17 июня 1994 г. установлена ООН как Всемирный день борьбы с опустыниванием и засухой, и в 2024 году отмечалось 30-летие этой конвенции. Несмотря на усилия разных стран по осуществлению КБО ООН, ситуация не улучшается. В 2015 г. Генеральная ассамблея

ООН приняла Повестку дня устойчивого развития на период до 2030 г., и среди основных целей устойчивого развития по-прежнему – сохранение экосистем суши, включая задачи по борьбе с опустыниванием.

Генеральный секретарь ООН Антониу Гутерриш в июне 2024 г. отметил, что «наша планета продолжает ежегодно терять 100 млн га здоровых и продуктивных земель – по площади примерно равных территории Египта. Наш мир сталкивается с растущей нехваткой плодородных земель и пресной воды, усугубляемой климатическим кризисом, конфликтами и борьбой за скудные природные ресурсы». По современным оценкам, для сохранения баланса на планете, к 2030 г. необходимо восстановить как минимум 1.5 млрд га ранее деградированных земель.

Подходы к решению этой амбициозной задачи были намечены в рамках КБО ООН в начале 2010-х годов и заключаются в разработке и применении на всех уровнях новейшей концепции нейтрального баланса де-

градации земель (НБДЗ), в английском оригинале – *Land Degradation Neutrality*.

ПОНЯТИЕ «НЕЙТРАЛЬНОГО БАЛАНСА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ»

Идея достижения нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) напрямую поставлена в задаче 15.3 Целей устойчивого развития ООН на период до 2030 года («Повестка 2030»): «к 2020 году бороться с опустыниванием и восстановить деградированные земли и почвы, включая земли, подверженные опустыниванию, и стремиться к тому, чтобы во всем мире не ухудшалось состояние земель (в другом переводе с английского – достичь нейтрального баланса деградации земель на глобальном уровне)».

В практическом отношении идея НБДЗ достаточно прозрачна: развитие и повсеместное применение подходов и технологий устойчивого землепользования не должно позволить

Рис. 1. Цели устойчивого развития ООН на период до 2030 года



уменьшить соотношение между «еще не деградированными» и «уже деградированными» землями, сложившееся на планете к настоящему времени. Таким образом, НБДЗ рассматривается как практический инструмент для обеспечения баланса деградации земель и их восстановления/реабилитации/рекультивации на глобальном, национальном, региональном и локальном уровнях.

Простыми словами, концепция НБДЗ ставит задачей достичь успеха в остановке и повороте вспять процессов деградации земель на планете за счет того, что каждая страна, каждый землепользователь на своем месте будет стремиться как минимум не ухудшать состояние своих земель, а в идеале – применять успешные практики и модели устойчивого землепользования для их улучшения по основным параметрам состояния. В применении этой концепции на деле есть два важных обстоятельства: 1) улучшение или поддержание одних параметров состояния не должно допускать ухудшение состояния других; 2) неизбежное в ряде случаев ухудшение или нарушение земель (например, в результате прокладки транспортных коммуникаций, роста городов, освоения лес-

ных земель под пашню, и т.п.) должно компенсироваться их восстановлением в сходных ландшафтных и социально-экономических условиях.

«Рамочное руководство по достижению НБДЗ», разработанное экспертами КБО ООН, предполагает использование нескольких ключевых зонтичных (так называемых «прокси») индикаторов: триаду, включающую динамику наземного покрова, продуктивности земель и запасов органического углерода почв, совместное использование которых по принципу «всеобщего охвата» (one out – all out) позволяет отследить выполнение показателя ЦУР 15.3.1. Интерпретация ключевых индикаторов в каждой стране или каждом конкретном случае применения может различаться.

Такой подход предоставляет возможность подбирать в разных ситуациях наиболее подходящие аналогичные или альтернативные индикаторы, что в конечном итоге позволяет сравнивать состояние земель на разных территориях на единой методологической основе. Например, показатель динамики запасов органического вещества может быть выражен как в собственно запасах углерода на единицу объема, с выбором наиболее приемлемого для конкретного объекта почвенного слоя, который может в разных случаях составлять от нескольких сантиметров до метра и более, так и в процентном содержании почвенного гумуса в верхнем слое почв, в мощности гумусового горизонта почв, в ожидаемой динамике эмиссии или поглощения углерод-содержащих газов, наконец, в показателях почвенной эрозии, и т.п. Аналогично, динамика наземного покрова может быть выражена в терминах «негативные» – «позитивные» изменения в зависимости от формы и типа землепользования. Например, для пашни как экономической

Рис. 2. Простейшая визуализация идеи НБДЗ

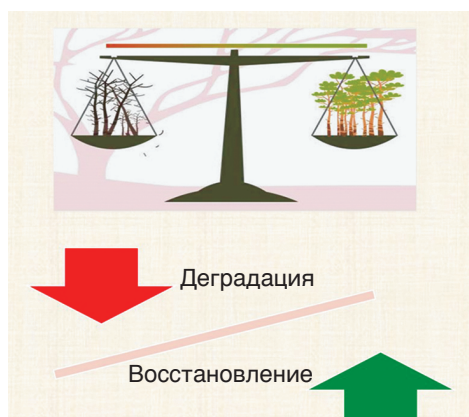




Рис. 3. Система индикаторов НБДЗ и достижения показателя ЦУР 15.3.1

категории негативными изменениями может служить зарастание полей природной растительностью (сорняками – с агрономической точки зрения), а для природных лесных и травянистых систем – наоборот, их распашка может быть признана в качестве негативной. Динамика продуктивности может выражаться не только в единицах биомассы (часто интерпретируемой с использованием различных дистанционных индикаторов, получаемых с помощью космической съемки), но и в виде урожайности конкретной продукции, запасов древесины (для лесов), экономических параметров дохода на единицу площади и пр.

Из-за сильных национальных традиций в оценке деградации земель, кон-

цепция НБДЗ изначально была встречена критически в России, поскольку она возникла в рамках КБО ООН, а Россия, как известно – «северная» страна, всего 7% территории Российской Федерации считается склонной к опустыниванию. Однако за без малого 10 лет научного анализа и опыта расчета индикаторов НБДЗ для разных регионов страны пришло понимание того, что концепция НБДЗ обеспечивает возможности оценки деградации земель, выходящих за рамки засушливых территорий, которые ограничены «мандатом» КБО ООН. Применение подхода НБДЗ помимо степных и полупустынных регионов также к лесным, горным, тундровым территориям показало, что он может быть успешно использован

для оценки ситуации с деградацией земель, а главное – позволяет сравнивать темпы изменения состояния земель в разных регионах на единой методологической основе. Кроме того, традиционная концепция рационального и/или эффективного землепользования и землеустройства получила новый акцент, связанный с идеями устойчивости, достижения нейтральности, вариантов управления и сохранения баланса между природным и экономическим потенциалом земли, адаптации к изменениям климата.

На первых порах дебаты развернулись даже вокруг самого термина НБДЗ, который в рамках ЦУР 15.3 был переведен на русский язык как «мир без деградации земель», что плохо отражало смысл термина *neutrality* как механизма достижения «нейтральности», а также совсем не отражало того, что НБДЗ отражает «состояние» земель, достигнутое к настоящему времени, а не динамику процесса или его причины. Поэтому в русскоязычной литературе было предложено использовать «нейтральный баланс деградации земель», что впоследствии вошло в русскоязычные переводы официальных документов КБО ООН и научную литературу.

ОЦЕНКА НБДЗ НА НАЦИОНАЛЬНОМ, СУБНАЦИОНАЛЬНОМ И МЕСТНОМ УРОВНЕ

КБО ООН рекомендует для оценки достижения НБДЗ на национальном уровне использовать специальный базовый модуль Trends.Earth геоинформационного инструмента Quantum-GIS или авторских аналогов с использованием трех глобальных показателей НБДЗ: динамики земельного покрова, продуктивности и запасов органического углерода почвы. Несмотря на отдель-

ные неточности, связанные с особенностями применения этих индикаторов в разных природных зонах и регионах, даже первые общие сравнительные оценки разных территорий России (Андреева, Куст, 2020) продемонстрировали интересные результаты, подтверждающие ранние оценки, проведенные более сложными методами. Общая площадь деградированных земель, согласно этой оценке, составляет 12.3%. Максимальная доля отмечается в Ростовской (66.9%), Волгоградской (62.5%) областях и в Краснодарском крае (50.9%). Менее 1% деградированные земли занимают в Амурской, Калужской и Ивановской областях. Обращает на себя внимание, что в этих же областях максимальная доля (более 97%) стабильных земель, что позволяет предполагать достаточно устойчивую экологическую ситуацию. От 1 до 2% занимают деградированные земли в Ярославской, Тверской, Костромской, Смоленской и Новгородской областях. С определенной долей допущения можно считать, что и в этих регионах практически достигнуто состояние НБДЗ, поскольку индикатор доли деградированных земель близок к нулю, а доля улучшенных земель весьма высока (более 90%). Для остальных регионов можно считать, что состояние НБДЗ пока не достигнуто.

На основе результатов оценки Trends.Earth нами было предложено использовать «Индекс НБДЗ». Этот показатель, рассчитываемый как разница долей улучшенных и долей деградированных земель, указывает на промежуточный этап в достижении НБДЗ и демонстрирует эффективность земельной политики и практики на определенной территории.

Если для РФ в целом Индекс НБДЗ составляет в среднем 25.7%, то для отдельных регионов он колеблется в широком диапазоне отрицательных

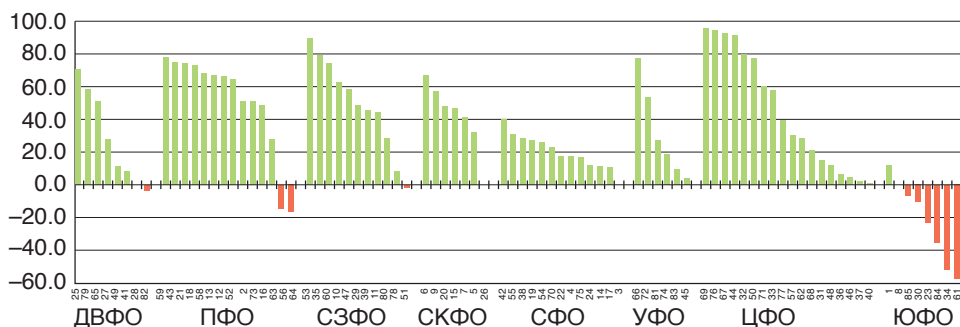


Рис. 4. Интегральная оценка и ранжирование регионов России по Индексу НБДЗ, %. Цифрами обозначены субъекты федерации в пределах соответствующих федеральных округов: ДВФО – Дальневосточный, ПФО – Приволжский, СЗФО – Северо-Западный, СКФО – Северо-Кавказский, СФО – Северный, УФО – Уральский, ЮФО – Южный

и положительных значений: от –57 до 96%. Как можно заметить, для подавляющего большинства регионов России характерны положительные значения Индекса НБДЗ, что говорит об эффективной динамике улучшения земель по всей стране, за исключением некоторых регионов. К последним, имеющим отрицательные значения Индекса НБДЗ, в основном относятся субъекты, расположенные в Южном ФО и южной части Приволжского ФО: Ростовская область (индекс НБДЗ –57.3%), Волгоградская область (–51.5%), Республика Крым (–34.9%), Краснодарский край (–22.9%), Саратовская (–16.7%), Оренбургская (–14.2%), Астраханская (–10.3%) области. «Наилучший» баланс (индекс НБДЗ от 80% и выше) характерен для регионов, расположенных в бореальном поясе, и обусловлен в основном ростом территорий, покрытых лесом и кустарником, как правило, по зарастающим залежам. Среди этих субъектов РФ, однако, выделяются увеличением количества «деградированных» земель более урбанизированные, что связано в основном с ростом площади застройки.

Аналогичные исследования были проведены для стран Центральной Азии.

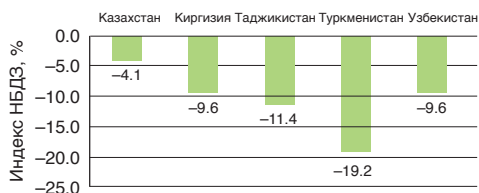
Как нетрудно заметить из представленных данных, практически во всем этом регионе общая тенденция в целом негативная, однако, как и для России, контраст ситуации, характерной для отдельных регионов, весьма велик: практически во всех странах, благодаря разнообразию природно-климатических областей, способам землепользования и интенсивности освоения земельных ресурсов, отмечаются как регионы с относительно хорошим состоянием, так и области с негативной динамикой земель. Это еще раз подтверждает вывод о том, что для стран с высоким природным и социально-экономическим разнообразием нельзя пользоваться усредненными оценками, важно показывать региональные различия и определять «горячие точки» в пределах этих отдельных регионов.

Таким образом, предварительная оценка Российской Федерации и стран Центральной Азии по регионам показала, что концепция НБДЗ и платформа Trends.Earth могут рассматриваться как основа для мониторинга процессов деградации на субнациональном уровне. Однако, из-за относительно низкого разрешения данных (250–300 м), эта платформа была

Оценка состояния земель
по индикатору ЦУР 15.3.1 за 2001–2018 гг.



Индекс НБДЗ в странах
Центральной Азии в 2001–2018 гг.



Индекс НБДЗ в странах Центральной Азии по областям в 2021–2018 гг.

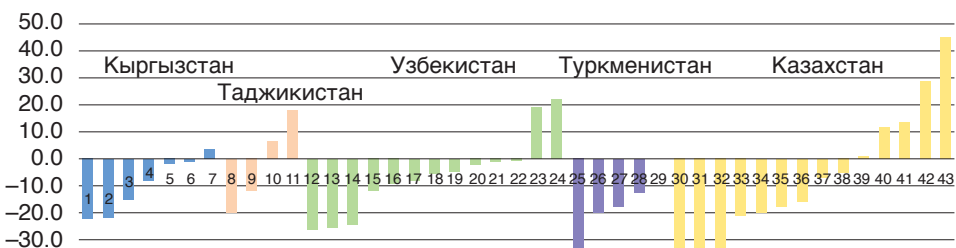


Рис. 5. Оценка достижения НБДЗ в странах Центральной Азии

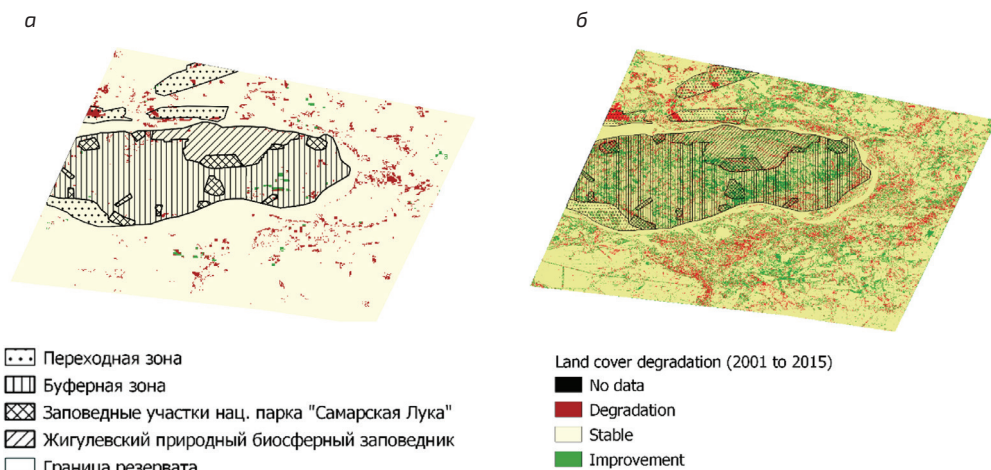


Рис. 6. Результаты оценки динамики земель на отдельных участках Средне-Волжского биосферного резервата и сопредельных территориях за 2000–2015 гг.: а - получены при помощи ГИС-модуля Trends.Earth (Q-GIS); б - при обработке космических снимков Landsat (Славко с соавт., 2021)

признана проблематичной для локальной оценки из-за возможного несовпадения границ и ошибочной интерпретации спутниковых снимков. Дополнительные исследования показали, что использование снимков более высокого разрешения (например, Landsat) и нейронных сетей для интерпретации изображений, а также уточнение и детализация перечня типов земель/угодий дает возможность повысить точность картографирования как минимум в 70 раз и одновременно скорректировать интерпретацию положительной и отрицательной динамики. Хотя этот подход является относительно трудоемким, он становится полезным для местных оценок НБДЗ. Ниже приведен пример местной оценки для тестового участка «Самарская Лука», который наглядно демонстрирует различия использования двух вариантов дистанционных данных: при общем сходстве картины детализация существенно возрастает.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ НБДЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Исследование практик устойчивого землепользования (УЗП) в контексте их роли для достижения НБДЗ показало, что эти две концепции неразрывно связаны, но эта связь далеко не однозначна (Андреева, Куст, 2022). Проверка рабочей гипотезы о том, что любая практика УЗП или их совокупность приводят к достижению НБДЗ, и, наоборот, – что факт установления НБДЗ свидетельствует об устойчивости землепользования, – показала, что этот, на первый взгляд очевидный тезис не всегда соблюдается, и его нельзя рассматривать как аксиому. Основная причина этого расхождения состоит в первую очередь в том, что установ-

ление НБДЗ проводится без семантического анализа баланса экосистемных функций и услуг, а лишь на основании формальных признаков, базирующихся на описанных выше прокси-индикаторах. Вместе с тем на устойчивость землепользования значимое влияние оказывают риск деградации, природный и актуальный потенциал земель, способность их к восстановлению, природные процессы и явления, как короткоживущие, так и длительнопроизводные. Эти признаки, наравне с достижением НБДЗ, позволили разработать типологию моделей землепользования и продемонстрировать, что отдельные практики не всегда могут быть отнесены к «устойчивым», особенно в случаях, когда необходимы активные действия по реабилитации или поддержанию актуального (расширенного) потенциала земель, или практики плохо согласованы между собой и направлены на разные цели (например, получение экономических или экологических выгод). Ниже представлен пример такой типологии для «пастбищной» модели УЗП.

Из этого примера наглядно видно, что типу УЗП с высоким природным потенциалом соответствует низкий риск деградации и минимальный набор мер, необходимых для достижения НБДЗ. Напротив, для типа УЗП с низким природным потенциалом требуется расширенный набор действий по достижению НБДЗ и снижению рисков деградации земель.

Важным этапом в использовании концепции НБДЗ для оценки успешности практик землепользования стала разработка способа описания динамики НБДЗ с помощью индекса НБДЗ с использованием метода «скользящего среднего». Было замечено, что при использовании разных базовых линий для сравнения и разных периодов оценки результаты сильно отличаются даже для одних и тех же территорий.

Исходное состояние/ Базовая линия НБДЗ	Меры (практики, технологии)		
Природный/ актуальный потенциал	Предупредительные (avoid)	Смягчающие (reverse)	Восстановительные (restore)
Высокий (хорошее состояние)	Пастбище оборот, соблюдение нагрузки	Не требуется	Не требуется
Средний (удовлетворительное состояние)	Пастбище оборот, соблюдение нагрузки	Снижение нагрузки, подсев трав, мелиорация, источники питьевой воды	Не требуется
Низкий (плохое состояние)	Пастбище оборот, соблюдение нагрузки	Снижение нагрузки, подсев трав, мелиорация, источники питьевой воды	Восстановление инфраструктуры (дороги, мосты, укрытия для животных)

Рис. 7. Принципиальная схема (на примере модели УЗП по пастбищному животноводству) формирования интегрального набора успешных практик в зависимости от исходного состояния (базовой линии) и иерархии компенсационных мероприятий. Стрелками указано направление изменения риска деградации: зеленый – низкий, красный – высокий риск

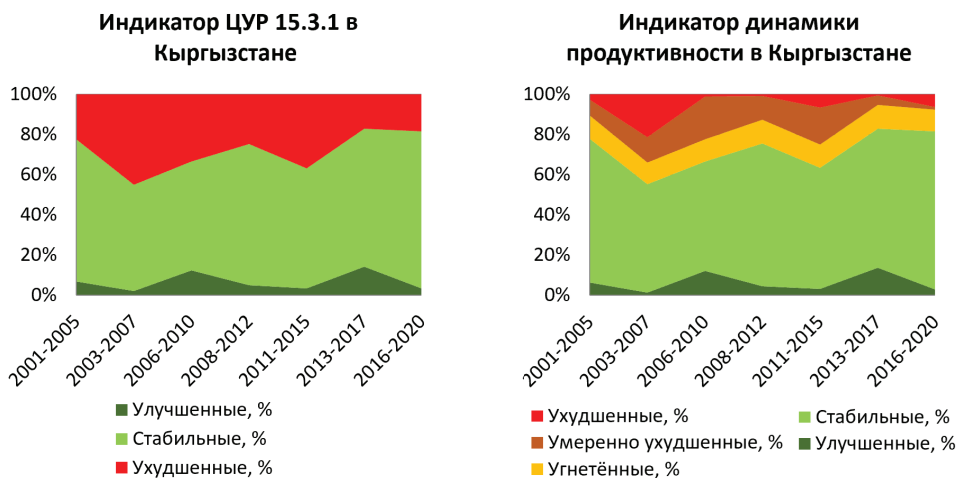


Рис. 8. Динамика продуктивности и индикатора ЦУР 15.3.1 в Кыргызстане

Например, для Кыргызстана вариативность НБДЗ, отнесенная к среднему (медианному) значению за период 2001–2020 гг., преимущественно связана с динамикой продуктивности и составляет до 20%.

Применение этого способа для оценки эффективности комплексных мероприятий по восстановлению и улуч-

шению состояния ирригационных систем в Ферганской долине в Узбекистане подтвердило значимые результаты этих инвестиций в отношении качественного состояния земель, показав практически по всем областям устойчивый рост улучшенных и стабильных земель, и снижение доли деградированных земель.

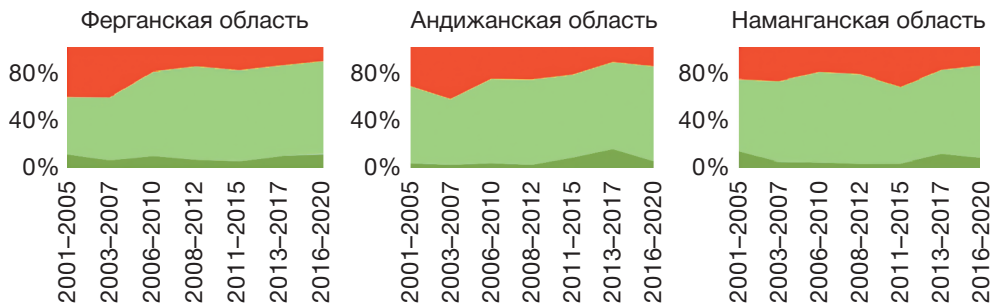
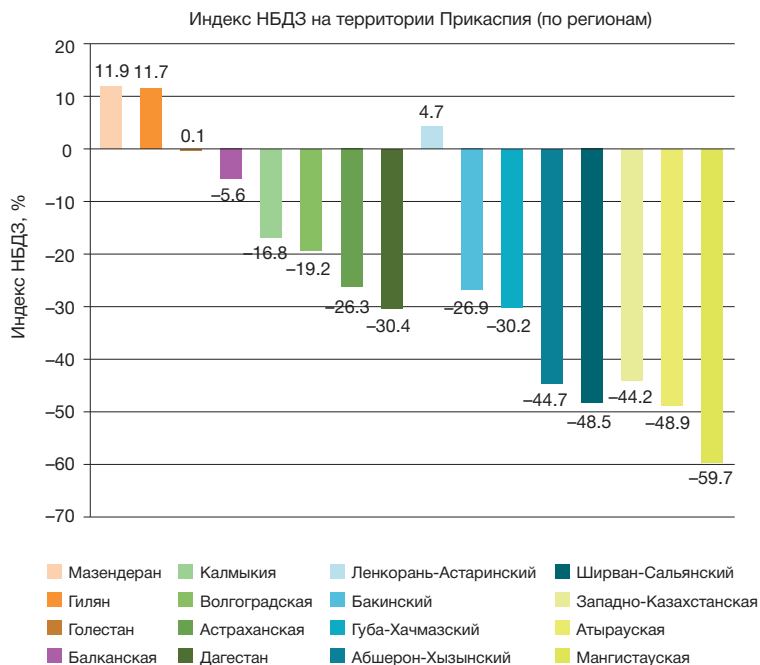


Рис. 9. Динамика продуктивности и индикатора ЦУР 15.3.1 в некоторых областях Узбекистана

Таким образом, достижение НБДЗ в определенной степени связано с применением УЗП для обеспечения экологического баланса, продовольственной безопасности и экономической эффективности. Несмотря на кажущуюся простоту этой взаимосвязи, она представляется эффективным инструментом для лиц, принимающих решения на национальном и субнациональном уровне. Например, учитывая разнонаправленное разнообразие тенденций

деградации и восстановления в различных климатических и экономических условиях территории России, «индекс НБДЗ» служит простым и эффективным инструментом для выявления УЗП, эффективной земельной политики и снижения риска НБДЗ для любого региона. Отрицательные значения индекса указывают на высокую долю деградированных и уязвимых земель и необходимость обмена передовым опытом УЗП. Тот же принцип полезен

Рис. 10.
Ранжирование административно-территориальных единиц первого порядка в странах Прикаспийского региона по индексу НБДЗ, рассчитанному для 2016–2020 гг. (базовый период 2001–2015 гг.)



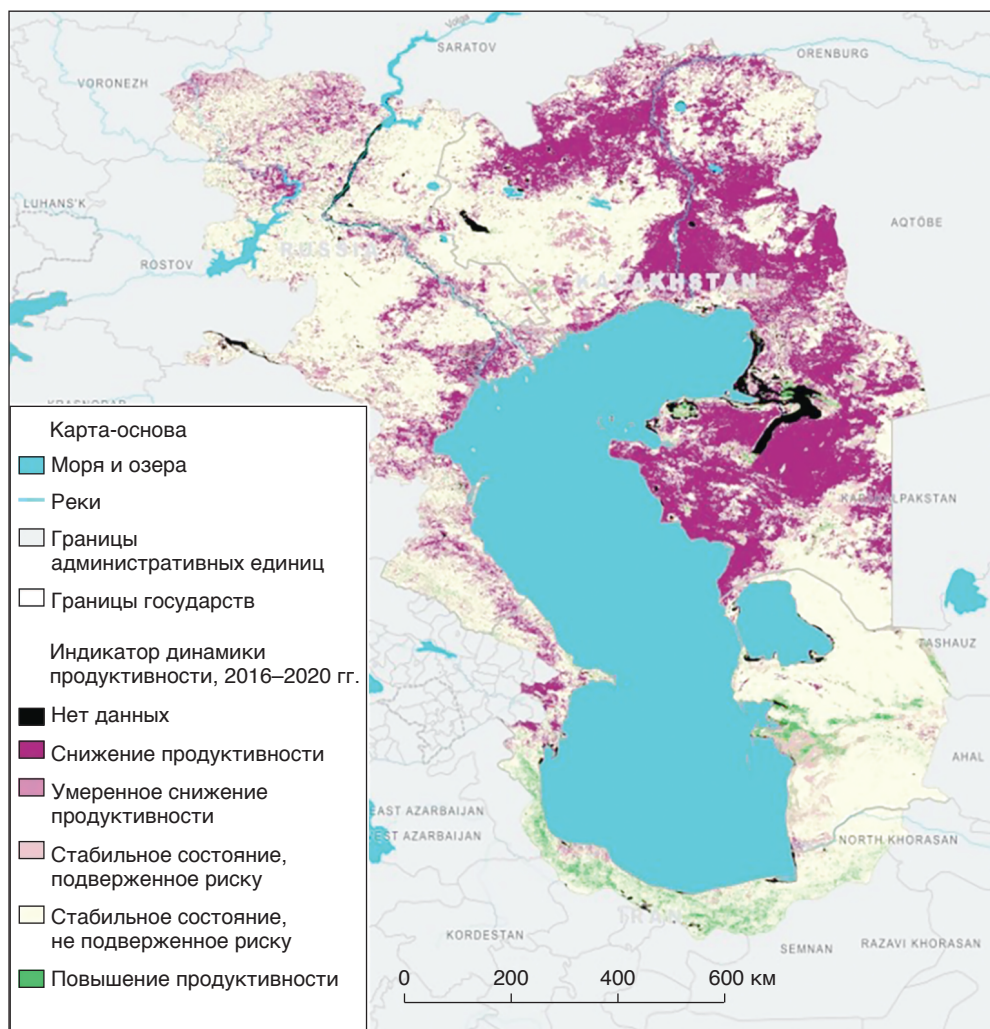


Рис. 11. Интегральная оценка динамики продуктивности земель за 2016–2020 гг. по сравнению с базовым периодом (2001–2015 гг.)

и для индивидуальных фермерских хозяйств: совместная оценка и картирование НБДЗ и УЗП, проведенная на пилотных участках сельскохозяйственных территорий Курской, Самарской и Ростовской областей, показала, что территории с положительным индексом НБДЗ характеризуются эффективными практиками землепользования.

Аналогичным образом достижение НБДЗ может рассматриваться в каче-

стве значимого интегрального индикатора адаптации землепользования и наземных экосистем к изменениям климата. На примере Прикаспийского региона, испытывающего значимые негативные изменения сезонных и среднегодовых температуры и осадков, была подтверждена рабочая гипотеза о том, что достижение состояния нейтрального баланса деградации земель (НБДЗ) может служить критерием адаптации

наземных экосистем к изменениям климата. Было продемонстрировано, на фоне относительно близкого уровня продуктивности в регионе адаптационный потенциал выше в прилегающих районах Ирана, где в последние годы проведены значительные работы по лесоразведению. Это отразилось не только в общем повышении продуктивности, но и в явном превышении индекса НБДЗ в этих провинциях по сравнению с другими странами и областями Каспийского региона.

Иначе говоря, территории, где за определенное время достигнут и поддерживается НБДЗ, могут быть с определенной степенью уверенности отнесены к тем, где реализован потенциал адаптации к климатическим изменениям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

НБДЗ представляет собой развивающуюся концепцию, которая постепенно выходит за рамки изначально обозначенных рамочных подходов КБО ООН и развивается в разных, зачастую неожиданных направлениях, что ярко проявляется в ее взаимодействии с традиционными национальными научными школами. Проблема деградации земель вышла за рамки узкой классификации опустынивания, мандата КБО ООН в отношении засушливых земель и концепции «рационального» или «эффективного» землепользования, которые доминировали ранее.

Исследования применимости методов НБДЗ с использованием трех глобальных индикаторов показали, что концепция НБДЗ может рассматриваться как целостный и эффективный подход для поддержки принятия решений в области мониторинга процессов деградации земель на национальном и субнациональном уровнях. С этой це-

лью и для поддержки принятия решений был рекомендован индекс НБДЗ.

Успешность применения концепции и новых методов НБДЗ для оценки успешности моделей устойчивого землепользования и способов адаптации к изменениям климата позволяет надеяться на постепенное преодоление «тихого кризиса» планеты Земля, связанного с катастрофической утратой земельных ресурсов в последнее столетие.

Благодарности

Материалы, использованные в статье, выполнены по государственному заданию ИГ РАН FMWS-2022-0001.

Литература

1. Agenda 2030. The 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution A / RES / 70/1., Adopted by the UN General Assembly on September 25, 2015. Available at: https://unctad.org/meetings/en/SessionalDocuments/ares70d1_en.pdf (accessed: 27.04.2020).
2. Orr B.J., Cowie A.L., Castillo V.M.S., Chasek P., Crossman N.D., Erlewein A., Louwagie G., Maron M., Metternicht G.I., Minelli S., et al. 2017. Scientific Conceptual Framework for Land Degradation Neutrality. A Report of the Science-Policy Interface. Bonn, Germany: United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD) [Электронный ресурс]. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2019-06/LDN_CF_report_web-english.pdf&hl=en&gl=ca (дата обращения 14.06.2024).
3. UNCCD. Land Degradation Neutrality: The Target Setting Programme. 2016. 20 p.
4. Trends.Earth (2018). Trends.Earth Documentation Release 0.56. Conservation International Retrieved from https://catalogue.unccd.int/972_Trends.Earth.pdf (accessed 27.12.2021)
5. Андреева О.В., Куст Г.С. Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Изв. РАН. Сер. Геогр. Т. 84. 2020. № 5. С. 737–749.
6. Андреева О. В., Куст Г. С., Лобковский В. А. Устойчивое землепользование и нейтральный баланс деградации земель // Вестник РАН. 2022. Т. 92, № 6. С. 509–521.

ЧТО БЫЛО И ЧТО БУДЕТ С ЛЕДНИКОМ АЛИБЕК?



БУШУЕВА Ирина Сергеевна,

кандидат географических наук

Институт географии РАН

DOI: 10.7868/50044394824050025



Потепление климата влияет на многие процессы на нашей планете, и криосфера – ледники, многолетнемерзлые породы, морские и речные льды, снежный покров – не исключение. По всему миру наблюдается сокращение оледенения, а в некоторых районах ледники, которые существовали столетиями, даже совсем исчезают. Ледники – хорошие индикаторы изменений климата, а знания о том, что происходило с ними в прошлом, помогают предсказать изменения в будущем. Для Кавказа ледники являются источниками пресной воды, необходимой для густонаселенных районов, расположенных ниже по течению рек, и для орошения обширных сельскохозяйственных регионов Предкавказья; талая вода с ледников участвует в выработке электро-

энергии, а также может быть причиной опасных природных явлений: селей, прорывов озер и т. п.

Здесь я расскажу о том, как менялся ледник Алибек, который находится на Западном Кавказе в долине реки Теберда, с конца XIX в. до настоящего времени. На ледник ведет тропа, его ежегодно посещают сотни туристов и, возможно, им будет интересно узнать, что еще совсем недавно ледник был существенно больше, но в последние десятилетия катастрофически сокращается. На основе фотографий, карт и описаний, а также аэрофото- и космических снимков была восстановлена история изменений размеров ледника и детали его отступления в последнее столетие. Что же будет с ним дальше?

Ледник Алибек (координаты его центра: 43°16'54" с.ш., 41°31'56" в.д.) расположен в верховьях долины реки Теберда, на Западном Кавказе. Эта местность отличается более теплым и влажным климатом по сравнению с районами, расположенными восточнее. Живописная долина этой реки и ее ледники издавна привлекали не только путешественников, но и исследователей: геологов, географов, а также специалистов по изучению рельефа (геоморфологов) и собственно ледников (гляциологов).

Одним из первых исследователей, посетивших Алибек в 1895 г., был известный русский геолог И.В. Мушкетов. Ученый, в частности, отметил асимметрию ледника: правая его сторона спускалась ниже левой на 500 м, почти до русла реки Алибек. Левая сторона «висела» над каменным уступам и выглядела, как вертикальная стена, от которой постоянно отваливались и падали вниз куски льда. В статье Мушкетова приведена гравюра, выполненная И.П. Крым-Шамхаловым.

В 1896 г. на Алибеке побывал известный русский путешественник и исследователь ледников Кавказа Н.А. Буш. Он писал, что нижний конец этого ледника имеет два боковых выступа, достигающих до дна ущелья, а средняя часть нижнего конца висит на отшлифованной каменной стене. Над каменной стеной возвышается голубая ледяная стена толщиной, по меньшей мере, 25 саженей (53.5 м).

По описаниям основателя и председателя Русского горного общества, одного из первых альпини-

стов в России А.К. фон Мекка, который был на Алибеке в 1904 г., юго-восточный (правый) конец ледника спускался ниже левого. Из-под его ледникового грота высотой 6–8 м с шумом вырывался в виде многоводного потока ручей Алибек. Северо-западный (левый) конец ледника отступил сильнее. В своей статье фон Мекк также привел несколько прекрасных фотографий конца ледника. Мы же постарались сделать повторные снимки, чтобы наглядно продемонстрировать величину отступления ледника.

Зачастую выполнить съемку конца ледника с того же места, где был сделан фотоснимок столетие назад невозможно, главным образом из-за разросшейся растительности или изменившихся форм рельефа. В данном случае нам повезло, и повторная фотография наглядно показывает, что скальный выступ (ригель), на котором лежал конец ледника в 1904 г., в 2009 г. был полностью свободен ото льда.

В XX в. наблюдения за ледниками долины реки Тиберда проводили Г.К. Тушинский, П.А. Утяков, П.В. Ковалёв, Х.Я. Закиев. До 1960 г. Алибек отступал, по оценкам разных авторов, со скоростью 7–10 м/год. А в 1960 г. ледник начал наступать, и к 1967 г. его длина увеличилась на 17.3 м. Также ледник наступал и в начале 1980-х гг. На аэрофотоснимках 1955 и 1987 гг. размеры Алибека очень



*Гравюра ледника
Алибек И.П. Крым-Шамхалова,
сделанная в 1895 г. Гравюра
из музея в Теберде*



Участки, расположенные перед языком Алибека, называемые предпольями ледника: 1 – фото А.К. фон Мекка (1904); 2 – фото И.С. Бушуевой (2009)

близки, а на более позднем (1987 г.) видны образовавшиеся морены, которые ледник отложил в периоды небольших подвижек или стационарного состояния в 1960-х и 1980-х гг. Очень наглядны представленные на одном рисунке границы фронта ледника в разные годы.

С 1990-х гг. Алибек непрерывно отступает, а с начала 2010-х гг. это отступление сильно ускорилось, что хорошо показывает кумулятивная кривая изменения его длины.

В 2016 г. правый край ледника превратился в мертвый лед, то есть лед в этой части утратил признаки собственного движения, потерял связь с телом ледника, перестал двигаться и просто тает. В настоящее время от него остались лишь небольшие фрагменты. Конец ледника поднимается все выше по склону и уже подошел к узкой расщелине на крутом склоне. Когда этот язык поднимется выше расщелины, то долинный ледник Алибек пре-

вратится в каровый, другими словами, он будет располагаться только в каре – чашеобразном углублении в привершинной части склона. На этой новой стадии размеры ледника могут на некоторое время стабилизироваться, поскольку изменится соотношение области накопления его массы (аккумуляции) и таяния (абляции). Другими словами, леднику не придется поддерживать язык, спускающийся в теплую зону и подвергающийся воздействию высоких температур, которые устойчиво растут в последние десятилетия.

Сокращение ледников наблюдается по всему Кавказу и происходит как на северном, так и на южном склоне Кавказских гор. Такое отступление происходит с разной скоростью, и его интенсивность зависит от многих параметров: соотношения площадей накопления и расхода массы, рельефа, экспозиции ледника по сторонам света, степени покрытия его поверхности моренным материалом и т. д.

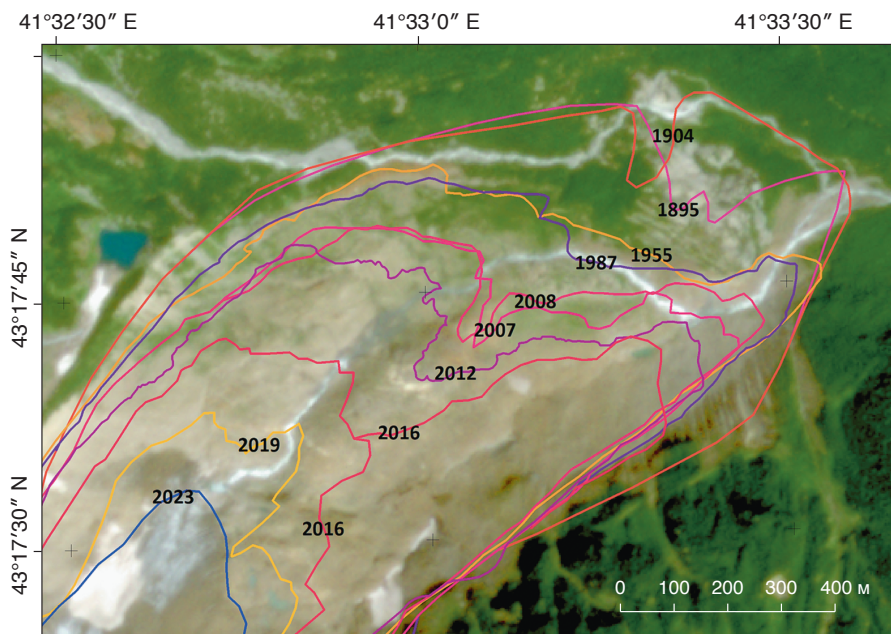
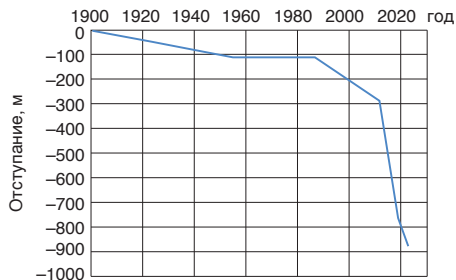


Схема колебаний конца ледника Алибек. Снимок предоставлен компанией Planet, получен 05.08.2023 г.



Кумулятивная кривая изменения длины ледника Алибек. График составлен автором

Изменения ледника Алибек – всего лишь одна из многих драматических историй исчезновения природных объектов, не только прекрасных, но и очень важных для человечества. Многие исследователи в данной области обнаруживают связь этого явления с глобальным потеплением, а также полагают, что в целом современная деградация ледников на Земле может являться рукотворной.

Более подробно об истории колебаний ледника Алибек можно прочитать в статье Бушуевой И.С. и др. (2015).

Литература

1. Бушуева И. С., Соломина О. Н., Жомелли В. История ледника Алибек по данным дистанционного зондирования, биоиндикации, ^{14}C и ^{10}Be датирования // Лёд и Снег. 2015. 55(3). С. 97–106. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2015-3-97-106>
2. Аванесов Г. А., Михайлов М. В. Космические и антропогенные факторы в формировании климата Земли // Земля и Вселенная. 2022. 3 (345). С. 30–46.
3. Буш Н.А. Ледники Западного Кавказа // Записки Императорского русского географического общества по общей географии, 1905. Т. XXXII, № 4. С. 87–89.
4. Ковалёв П.В. Современное оледенение бассейна реки Теберды // Материалы кавказской экспедиции по программе МГТ. Т. 1. Харьков: Изд-во ХГУ, 1960. С. 7–88.
5. Мекк А.К. Первосхождение в верховья Теберды // Ежегодник РГО, 1906. №4. С. 1–64.

ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна^{1, 2, 3}

МАГАРЯН Константин Арутюнович²

ИНОЗЕМЦЕВА Анастасия Валентиновна²

НАУМОВ Андрей Витальевич^{2,3}

¹ Институт спектроскопии РАН

² Московский педагогический государственный университет

³ Троицкое обособленное подразделение ФИАН им. П.Н. Лебедева

DOI: 10.7868/S0044394824050037

Окончание. Начало см. ЗиВ, 2024, № 4

Вопрос 4 (8–9 классы)

IV ТУР 7 мая 2023 года



ПЕТРУКОВИЧ Анатолий Алексеевич,

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН
Институт космических исследований РАН

Каждый из нас зимой хоть раз катался на лыжах, санях или сноуборде. В детстве мы проводили массу времени на катках и зимних горках, наслаждаясь скольжением лыж и коньков по плотному снегу и льду.

Но кататься на лыжах, как выяснилось, можно не только по снегу, но и по песку в жаркой пустыне. Тому подтверждение большое количество слайдов и видеороликов с лыжниками

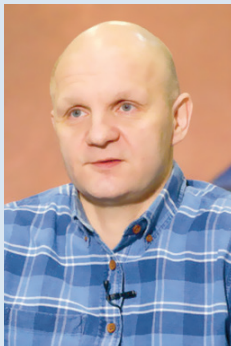
где-нибудь в пустыне Саудовской Аравии или каком-нибудь другом месте. Правда, это не спуск со снежных склонов. Но у многих получается вполне себе ничего.



Когда смотришь на все это, может возникнуть вопрос: а возможно ли такое, скажем, на Луне? Ну, конечно, не горнолыжный спуск, а вот прокатиться на санях с лунной горки. Такое возможно?

Вопрос 5 (10–11 классы)

IV ТУР 7 мая 2023 года



ЛИТВАК Максим Леонидович,

доктор физико-математических наук, профессор РАН
Институт космических исследований РАН

Современный Марс холодный и сухой, но его поверхность покрыта сетью долин и изрезана огромными каналами, которые свидетельствуют о том, что по поверхности древнего Марса протекали большие потоки воды. Поэтому многие ученые предполагают, что ранний Марс был такой же теплый и влажный, как и Земля, а на его поверхности могли существовать океаны. Однако специалисты, которые рассчитывают климатические модели, относятся к этому с осторожностью.

Какой простой аргумент они используют, объясняя свое сомнение?

Вопрос 6 (10–11 классы)

V ТУР 9 мая 2023 года



БЕЛОТЕЛОВ Владимир Игоревич,

доктор физико-математических наук, профессор РАН
Российский квантовый центр

Почему возникает лунная дорожка на море или озере? От чего зависит ее длина и ширина? Всегда ли лунная дорожка узкая? Оцените длину лунной дорожки. При каком условии лунная дорожка начинается сразу от горизонта?

Дополнительный балл за правильный ответ на вопрос, кто и где написал картину.



Вопрос 7 (8–9 классы)
VI ТУР 11 мая 2023 года



МУРТАЗАЕВ Акай Курбанович,
доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН
Дагестанский федеральный исследовательский центр РАН,
Институт физик ДФИЦ РАН

Между Землей и Луной есть точка, где сила притяжения Земли равна силе притяжения Луны. Найдите, на каком расстоянии от центра Земли (или от центра Луны) находится эта точка, если известны масса Земли m_3 , масса Луны $m_л$ и расстояние между центром Земли и Луны R .



Вопрос 8 (10–11 классы)
Специальный ТУР 16 мая 2023 года



НАУМОВ Андрей Витальевич,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, профессор РАН
Троицкое обособленное подразделение
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

Знаменитый астрофотограф Andrew McCarthy (<https://cosmicbackground.io/>) сумел сделать замечательное фото Марса в момент его восхода на горизонте Луны после затмения. На каком расстоянии от Земли в этот момент времени был Марс?



Вопрос 9 (10–11 классы)

Заключительный Президентский ТУР 16 мая 2023 года



ЛУТОВИНОВ Александр Анатольевич,

доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН,
профессор РАН, Председатель координационного совета профессоров РАН
Институт космических исследований РАН

К Земле приближается «двойной» астероид – система двух космических тел, одно из которых заметно больше другого. Придумайте оптимальную стратегию, как «выстрелить» по этому двойному астероиду, чтобы максимально отклонить его от начальной траектории движения и спасти Землю от «Армагеддона».



Ответы см. на стр. 93

ЛЕОНИД КСАНФОМАЛИТИ: ИДУ НА ГРОЗУ

КОРОСТЕЛЕВ Сергей Геннадьевич

биограф Л.В. Ксанфомалити

DOI: 10.7868/50044394824050049

Один из лидеров войны за независимость США Бенджамин Франклин был не только выдающимся политическим деятелем, но и весьма талантливым ученым. В частности, он прославился опытами с использованием воздушного змея в грозу, в результате которых ему удалось доказать тождественность «обычного» электричества и молний. В детстве об опытах Франклина Леониду Васильевичу Ксанфомалити (1932–2019) красочно рассказывал его дедушка Николай Михайлов¹. Спустя 40 лет Ксанфомалити, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией фотометрии и инфракрасной радиометрии Института космических исследований (ИКИ) АН СССР, поставил эксперимент по обнаружению электрической активности атмосферы Венеры – «Гроза». До 21 декабря 1978 г. мы доподлинно знали о существовании молний только на одной планете – Земля.



Автор эксперимента «Гроза», первооткрыватель венерианских молний Леонид Ксанфомалити (1932—2019) размышлял о природе электрической активности атмосферы Венеры до конца своих дней

Идея усилить прибором «Гроза» научный комплекс автоматических межпланетных станций (АМС) «Венера -11 и 12» возникла только в 1976-м, когда подготовка миссии шла уже полным ходом.

Основные работы по изготовлению «Грозы» взяло на себя Особое конструкторское бюро (ОКБ) ИКИ в столице Киргизии Фрунзе (ныне – Бишкек). Но параллельно Ксанфомалити постоянно навещался на Красногорский механический завод – еще в 1955 г. там было организовано радиотехническое производство по выпуску аппаратуры для управления ракетами класса «воздух – воздух» и «земля – воздух». Иногда на этом предприятии, в целом военном, выполнялись и астрономические заказы.

Путь от замысла до воплощения «в металл» бывает весьма тернистым,

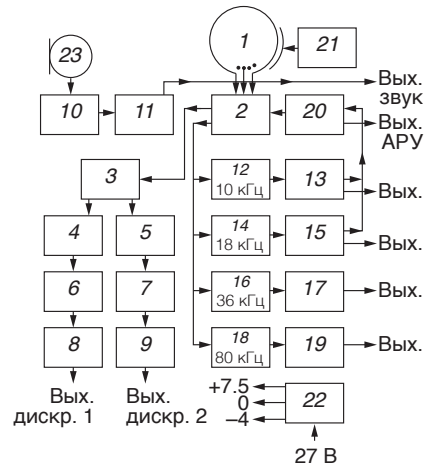
¹ См. биографический очерк о Ксанфомалити: Коростелев С.Г. Парад планет Леонида Ксанфомалити // Земля и Вселенная. 2022. № 2, 3.

и в процесс создания своего прибора, которому предстояло наверняка зафиксировать венерианские молнии, Ксанфомалити старался проникнуть максимально глубоко².

Эксперимент готовился вслепую (никаких исходных данных не было), поэтому миниатюрный (160 × 80 × 70 мм; масса – 650 г; энергопотребление – около 1.2 Вт) прибор «Гроза» – радиоприемник-спектроанализатор длинных и сверхдлинных волн с внешней рамочной антенной (диаметром 250 мм), работоспособной при температуре до 500 °С, – необходимо было наделить высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном.

«Гроза» была предназначена для измерения электрической и акустической активности венерианской атмосферы (ее газовой и аэрозольной составляющих) с помощью узкополосных приемников на 10, 18, 36 и 80 килогерц и широкополосного приемника 8–95 килогерц. Реагировавший на магнитную составляющую электромагнитного поля детектор был способен регистрировать разряды от молний, микрофон – акустические сигналы, которые можно было бы интерпретировать как сопровождающий молнии гром.

Пока «Гроза» устанавливалась на борт «Венер-11 и 12», стало известно о теоретических выкладках японского исследователя Такуи Хары: он рассмотрел условия, которые должны приводить к возникновению электрических разрядов в атмосферах планет (и протопланетной туманности), и пришел к выводу, что такие условия выполняются на Венере и Юпитере³. Ксанфомалити стремился стать первым, кто



1 – антенна, 2 – предусилитель, 3 – промежуточный усилитель, 4 – дискриминатор малых амплитуд, 5 – дискриминатор больших амплитуд, 6 – пересчетное устройство на 256 ед., 7 – на 64 ед., 8, 9 – выходные устройства, 10 – усилитель и АРУ, 11 – детектор и выходной каскад, 12, 14, 16, 18 – каналы, 13, 15, 17, 19 – детекторы и согласованные усилители, 20 – АРУ, 21 – калибратор, 22 – блок питания, 23 – акустический датчик

Блок-схема прибора «Гроза»

переведет все эти умствования в плоскость реальных измерений и фактов.

ОПЕРАЦИЯ «ГРОЗА»

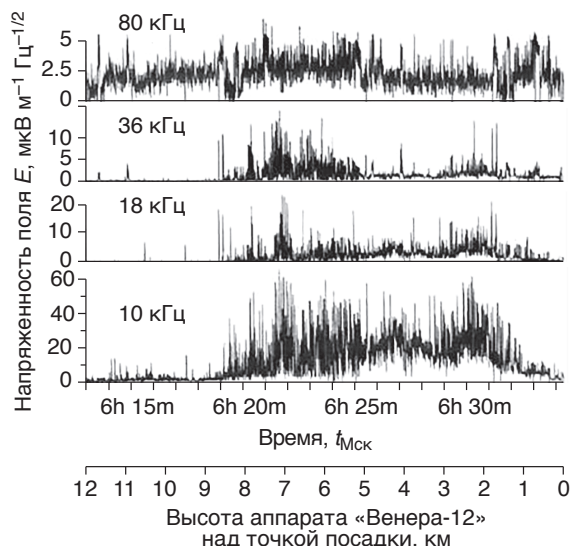
АМС «Венера-11 и 12» были запущены 9 и 14 сентября 1978 г. Во избежание путаницы подчеркнем: «Венера-12», как видно из присвоенного станции порядкового номера, стартовала позже, а вот к Венере, – так как космические корабли летят порой по крайне сложным криволинейным траекториям, – приблизилась раньше своей напарницы.

19 декабря 1978-го, за двое суток до подлета к планете, от «Венеры-12» отделился ее десантный аппарат.

5 марта 1979 г. Отрадно, что Ксанфомалити с Венерой всех опередил.

² Ксанфомалити самостоятельно разрабатывал электронику для своих приборов, отчасти это касалось и оптики (в «Грозе» ее, однако, не было).

³ Циклопические молнии тысячекилометровой протяженности были обнаружены в атмосфере Юпитера американской АМС «Вояджер-1»



Напряженность поля
электромагнитных импульсов,
зарегистрированных 21 декабря
1978 года прибором «Гроза»
на спускаемом аппарате «Венера-12».
Фрагмент записи от высоты
в 12 км до поверхности. Из архива
Л.В. Ксанфомалити

Ранним утром (по московскому времени) 21 декабря на скорости 11.2 км/с он вошел в венерианскую атмосферу.

Включилась «Гроза». Через 9 минут, когда «десантник» находился на высоте 60 км, прибор собрал первый пакет примерно из сотни разрядов, еще через 8 минут – второй.

Дальнейший спуск осуществлялся уже «плавно» – со скоростью 7–8 м/с. На высоте 49 км были отцеплены парашюты. Посадка состоялась в 11:16 по венерианскому солнечному времени на восточных склонах Области Фебы (*Phoebe Regio*).

По мере приближения аппарата к поверхности амплитуда регистрировавшихся «Грозой» ради шумов стала падать, а после посадки снизилась до уровня шумов самого приемника. За все 110 мин работы двенадцатого «десантника» на поверхности была зарегистрирована лишь одна более или менее существенная группа импульсов.

Открытие венерианских молний – состоялось? Да, но Ксанфомалити хотел получить подтверждение. А может, все это были артефакты? Ведь сла-

бые разряды могли образовываться и в результате электризации самого аппарата при его движении в атмосфере. По аэродинамическим причинам «десантник» вращался, и, конечно, это приходилось учитывать.

До прибытия «Венеры-11» оставалось четыре дня...

Утром 25 декабря одиннадцатый «десантник» опускался по точно такой же трассе, практически в тот же район планеты (на поверхности аппараты оказались разделены расстоянием в 800 км). Но насколько непохожими были регистрируемые явления! Напряженность поля была гораздо выше. В этот день разыгралась сильнейшая электрическая буря, каждую секунду – по 20–30 разрядов. Через несколько минут буря утихла, но на очереди была следующая.

В верхней части трассы наблюдениям была доступна площадь с радиусом не менее 1700 км (около 9 млн квадратных км). По мере спуска аппарата площадь, разумеется, уменьшалась – удаленные источники уходили за горизонт. Было отмечено, по крайней мере,

Напряженность поля
многочисленных
электромагнитных
импульсов,
зарегистрированных
25 декабря 1978 г. прибором
«Гроза» на спускаемом
аппарате «Венера-11».
Фрагмент записи
от высоты в 10 км
до поверхности. Причина
различий напряженности
на частотах 18
и 36 кГц осталась
неизвестной. Из архива
Л.В. Ксанфомалити

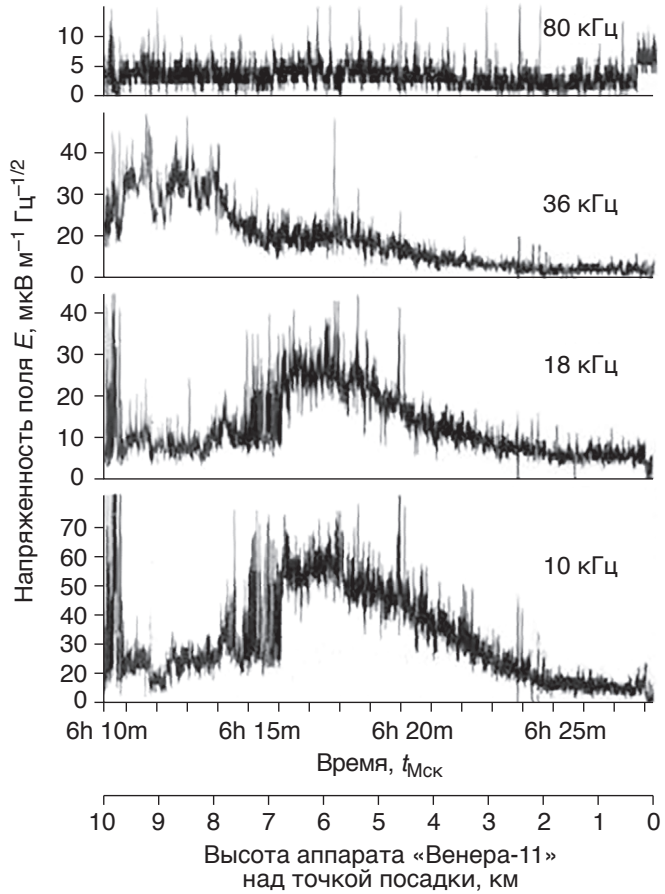
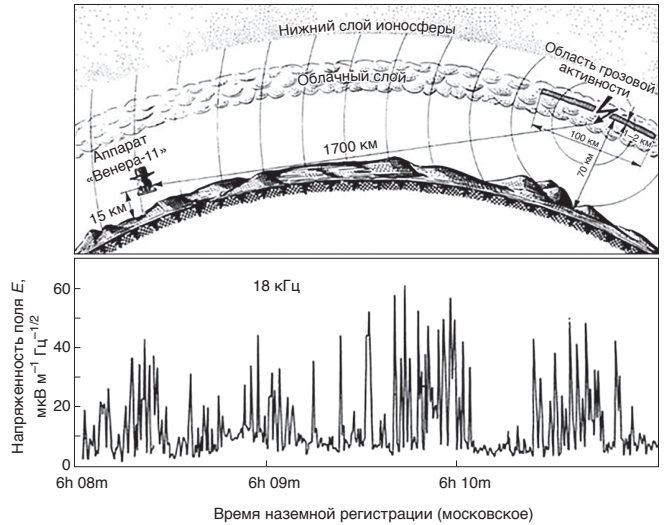


Схема регистрации
«Грозой» «Венеры-11»
радиошумов от
электрических разрядов,
возникающих, как
изначально полагал
Ксанфомалити, в облачном
слое. Внизу – запись
радиошумов на частоте
18 килогерц. Из статьи:
Ксанфомалити Л.В. Новые
исследования
Венеры // Земля
и Вселенная. 1979. № 4





Обложка журнала «Земля и Вселенная» (1979, № 4), на которой изображен десантный аппарат «Венера-12», регистрирующий вспышки венерианских молний – посредством прибора Л.В. Ксанфомалити «Гроза»

пять-шесть всплесков, по-видимому, связанных с разными источниками.

«Венера-12» зарегистрировала, по существу, лишь две большие группы импульсов: после первого всплеска сигнал практически отсутствовал в течение 24 мин и появился снова лишь за 16 мин до посадки. «Венерой-11», напротив, были отмечены наиболее интенсивные группы всплесков, состоявшие из многих тысяч отдельных импульсов.

Напряженность электромагнитного поля радишумов на высотах менее трех километров и на поверхности (одиннадцатый «десантник» проработал там 95 мин) была, за одним исключением, очень малой, что можно объяснить радиорефракцией в плотной венерианской атмосфере.

Ксанфомалити все еще тревожило, что разряды могут возникать при трибоэлектризации⁴ аппаратов. Помехи от электризации могли проявиться в виде коротких импульсов на выходах прибора, поэтому Ксанфомалити затратил какое-то время на то, чтобы убедиться в их отсутствии. Спектральные индексы отдельных всплесков резко различались, что указывало на разные источники радишумов.

То есть все подтвердилось! Ксанфомалити мог ликовать. В статье, подготовленной для журнала «Земля и Вселенная», он писал: «Удалось показать, что низкочастотные радишумы связаны с происходящими в атмосфере электрическими процессами. Атмосферные помехи, которые были первыми радиосигналами, зарегистрированными радиоприемником А.С. Попова на Земле, существуют и на Венере!»

Акустический канал с внешним датчиком (микрофон «Грозы») значимых результатов не принес. В течение всего спуска на «Венере-12» аэродинамический шум превышал 90 децибелов – верхний предел микрофона. На «Венере-11» ниже 7 км шум составлял 85–90 дБ. После посадки все отмеченные звуки, по-видимому, были связаны с работой самих аппаратов. Или почти все. По крайней мере, в одном из отчетов⁵ значит, что на 32-й мин после посадки одиннадцатый «десантник» отметил звук с уровнем около 82 дБ неизвестного происхождения...

Обработка данных (несколько тысяч коротких импульсов от разрядов, сгруппированных в отдельные всплески радишумов в диапазоне 10–95 кГц) оказалась весьма трудоемкой. В ре-

⁴ Трибоэлектрический эффект – появление электрических зарядов в материале из-за трения.

⁵ Предварительные результаты исследований, проведенных на автоматических станциях «Венера-11» и «Венера-12» // Космические исследования. 1979. Т. XVII. Вып. 5.

зультате удалось найти угловые размеры источника – всего 5° , затем – энергию разрядов для разных вариантов расположения источника. Напряженность электромагнитного поля лучше всего соответствовала условию, когда источник с энергией, типичной для земной молнии (10^8 Дж), удален на 1700 км от аппарата. Это очень далеко. Сильная рефракция венерианской атмосферы увеличивает дальность наблюдения на 15–20% по сравнению с Землей. Но и в таком случае необходимо было допустить, что венерианские грозы дают в десятки раз больше молний, чем земные.

Источником радиозумов оказалась область с горизонтальной протяженностью свыше 100 км⁶, расположенная на высоте 60–70 км (облачный слой)⁷.

В 1954 г. выдающемуся пулковскому астроному Н.А. Козыреву удалось получить спектрограмму свечения ночной стороны Венеры. Естественных спутников у Венеры нет, а значит, светиться может только атмосфера. Тогда-то и задумались (впервые всерьез) о венерианских молниях. Проведя свою «операцию “Гроза”», Ксанфомалити предположил, что ночное свечение венерианской атмосферы действительно может быть объяснено молниями, обильно вспыхивающими на планете в периоды повышенной грозовой активности. То, что некоторые источники импульсных радиозумов имели удивительно малые угловые разме-

ры, а один из них и вовсе воспринимался прибором как удаленный точечный объект, представлялось странным: это было очень непохоже на земные грозовые фронты. Потребовалось немало времени, чтобы разобраться, в чем тут дело.

ФРЕД СКАРФ: СОПЕРНИК, КОЛЛЕГА, ДРУГ

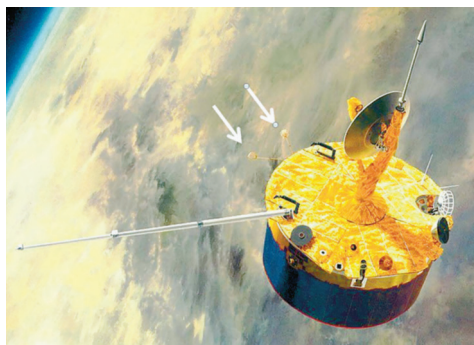
После маневра увода обе наши АМС пролетели мимо планеты на расстоянии 35 тыс. км.

Венеры в 1978-м достигли и американцы. Их АМС «Пионер-12», ставшая известной как «Пионер-Венера-1» (*Pioneer Venus Orbiter*), вышла на орбиту венерианского спутника. Имея первоначально очень низкий перигесперий (150 км), эта станция успешно проводила прямые измерения верхней атмосферы и ионосферы. Плодотворная работа продолжалась до конца 1981 г. А работой по-настоящему пионерской стало радиолокационное картографирование (до этого на протяжении двадцати лет рельеф Венеры изучался только методом наземной радиолокации). Были составлены первая, гипсометрическая, карта Венеры (она охватывала часть планеты от 75° северной широты до 60° южной) и первый глобус, правда, очень приблизительные⁸.

⁸ У второй АМС, «Пионер-13» («Пионер-Венера-2»; *Pioneer Venus Multiprobe*), задача была другой: аппарат вошел в атмосферу, доставив большой спускаемый аппарат и три маленьких зонда («Север», «День», «Ночь»). В ходе почти часового спуска они передавали на Землю научные данные. Но не все прошло гладко: на высоте 12–13 км у всех «десантников» вышли из строя температурные датчики и ряд других приборов. Ксанфомалити и его американские коллеги рассматривали возможность того, что виной был внешний электрический разряд. Подробнее см.: Коростелев С.Г. Венерианские грозы Леонида Ксанфомалити // Наука и жизнь. 2023. № 5.

⁶ Из длительности радиозахода и скорости спуска аппарата легко находилась и толщина грозового слоя – всего 1–2 километра.

⁷ Напомним, что венерианские облака состоят из капель концентрированной серной кислоты – H_2SO_4 . В 1972 году к такому выводу пришли супруги Эндрю и Луиза Янг (и независимо от них другой американский ученый – Годффри Т. Силл). (Ксанфомалити с Янггами дружил, ценил их очень высоко.) Нижняя граница облачного слоя на Венере расположена на высоте около 49 км от поверхности, верхняя – 70 км.



АМС «Пионер-Венера-1» в изображении художника. Датчик электрического поля прибора OEFД измеряет потенциал между двумя сферическими электродами из проволоочной сетки (обозначены стрелкой). Из статьи: Lorenz R.D. Lightning detection on Venus: a critical review // *Progress in Earth and Planetary Science*. 2018. № 5(1)

21 и 25 декабря «Гроза» зарегистрировала множество импульсов электромагнитного поля, напоминающих атмосферерики, или вистлеры⁹, удаленных земных молний. Сконструированный Ксанфомалити прибор реагировал, повторим, на магнитную составляющую поля. 28 декабря 1978 г., принимая электрическую составляющую поля, такие же импульсы зарегистрировал детектор плазменных волн OEFД (Orbiter Electric Field Detector) на орбитальном аппарате «Пионер-Венера-1». OEFД работал на тональных (звуковых) частотах, причем его диапазон перекрывался с диапазоном «Грозы».

Американцы и наши действовали независимо, ничего друг с другом не согласовывали, однако идентич-

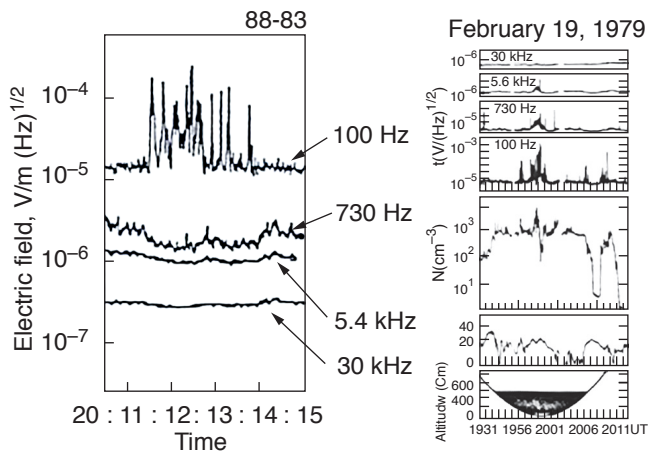
ные научные задачи, стоявшие перед учеными по обе стороны океана, диктовали проведение сходных экспериментов. Американский, впрочем, получился весьма своеобразным. В отличие от прибора «Гроза», американский прибор работал на спутнике, орбита которого проходила выше основных слоев ионосферы, экранировавшей приемник от излучения. Доступны были в основном средние широты.

OEFД вынужден был уповать на случайно ориентированное магнитное поле: собственного магнитного поля у Венеры нет, а поле, наведенное или захваченное ионосферой из плазмы солнечного ветра, может иметь любое направление. Таким образом, требовалось, чтобы на одной и той же силовой линии одновременно оказались электрический разряд и аппарат. Иными словами, преимущество эксперимента «Гроза» было в том, что наблюдения проводились в самом волноводе «поверхность – ионосфера», тогда как детектор OEFД был экранирован нижними слоями ионосферы.

Главным для американских ученых было доказать, что при определенном направлении случайного магнитного поля, «вмороженного» в ионосферу, излучение сквозь ионосферу все же проходит, – и это им удалось. Естественно, при этом фиксируется лишь малая часть явлений. Парадоксальным образом располагавшийся высоко над поверхностью прибор OEFД «обозревал» малый участок атмосферы – дальностью всего в пару сотен километров от себя. В то время как низкочастотные (10–80 кГц) измерения «Грозы» могли обнаруживать разряды на расстояниях в тысячу и более километров – за счет сверхрефракции в нижних слоях атмосферы и/или «прыжка в небо» (“sky bounce”) – отражения от ионосферы.

⁹ Атмосферерики (вистлеры) – низкочастотные электромагнитные волны, образуемые атмосферой Земли и ее поверхностью. Имеют круговую поляризацию и распространяются вдоль силовых линий магнитного поля. Такие волны называют свистящими атмосфериками или просто свистами – из-за характерного свиста в радиозфире. Whistler – дословно с английского – «свистун».

Слева: Импульсы электромагнитного излучения, зарегистрированные прибором OEFД на борту орбитального аппарата «Пионер-Венера-1». Импульсы наблюдались в перигесперии орбиты станции. Справа: Сигнал, принимавшийся 19 февраля 1979 г. Из архива Л.В. Ксанфомалити



Метод, реализованный в рамках эксперимента OEFД, получился довольно трудным, но – допустимым. Разряды были зарегистрированы, а в дальнейшем американцы сумели извлечь и большую выгоду: принятые импульсы можно было привязать к топографии планеты – орбитальный аппарат проработал до конца 1981 г., периодически оказываясь над разными районами Венеры¹⁰.

И только вопрос высотной локализации оставался не до конца решенным.

Руководителем эксперимента OEFД был Фредерик Л. Скарф (*Scarf*).

Соперник у Ксанфомалити был очень сильный. Физик-теоретик Фред Скарф – научный сотрудник отдела космических исследований и технологий корпорации TRW (*Thompson Ramo Wooldridge Inc.*) в Редондо-Бич (близ Лос-Анджелеса) – считался одним из ведущих мировых экспертов в области плазмы. Интересно, что Скарфу потребовался почти год, чтобы сообразить, как именно сигнал достигал аппарата – чтобы ответить оппонентам, которые утверждали, что ионосфера экранирует спутник и регистрация низкочастотных сигна-

лов на нем невозможна. И это притом, что лекции о распространении волны вдоль магнитной силовой линии, т. е. в режиме вистлера, Скарф постоянно читал студентам.

Из-за влияния ионосферы и по некоторым другим причинам «вылавливать» электромагнитные импульсы OEFД мог только над ночной стороной планеты.

Ксанфомалити и Скарф указывали на три свойства зарегистрированных импульсов, присущих волне в режиме вистлера: сигнал наблюдается только в диапазоне 100 герц; напряженность магнитного поля – более 10 нанотесла; поле направлено к поверхности и пересекает ее¹¹.

¹¹ Интересно, что, похоже, последнее свойство буквально недавно оказалось в фокусе внимания современных исследователей, обрушившихся с критикой позиционирования венерианских вистлеров в качестве индикатора молний на Венере.

12 августа 2018 г. НАСА запустило зонд *Parker Solar Probe* – для изучения солнечной короны и солнечного ветра вблизи звезды. Рассчитанная на семь лет программа миссии предусматривает 24 оборота вокруг Солнца с уменьшающимся перигелием. 20 февраля 2021 г. находящийся на вытянутой гелиоцентрической орбите зонд приблизился к Венере (с ночной стороны) – до расстояния в 2385 км.

¹⁰ В 1987-м сообщалось, что общая продолжительность наблюдений составила 257 часов.



Фред Скарф с коллегами наблюдает за максимальным сближением «Вояджера-2» с Ураном (24 января 1986 г.) в Лаборатории реактивного движения в Калифорнии. Фотография: space.physics.uiowa.edu / Jet Propulsion Laboratory

«Наука – такой широкий фронт исследований, где, на мой взгляд, конкуренции быть не может. Вопросов и проблем там хватит на каждого, и с избытком. У нас в Академии наук конкуренция проявляется редко. Тем более с использованием нечистоплотных средств. А вот у американцев конкурент – это почти враг. Я сталкивался с этим неоднократно. Наверное, мне

В ходе этого сближения приборы станции «поймали» десятки свистящих атмосфериков. Проанализировавшие серии этих сигналов ученые Университета Колорадо в Боулдере указывают на странность (вероятно, однако, отмечавшуюся Ксанфомалити и Скарфом задолго до них): мол, вистлеры оказались направлены в «неправильную» сторону – к планете, а не от планеты, как должны «двигаться» радиосигналы от молний. Кроме того, сигнатуры молний в широкополосном электрическом спектре отсутствуют.

Возможно, все дело в том, что в магнитном хвосте срабатывает некий механизм. Возможно, это – магнитное «пересоединение» (*reconnection*). В статье *Non-lightning-generated whistler waves in near-Venus space* («Атмосферика, генерируемые не молниями, в пространстве вблизи Венеры»), опубликованной в журнале *Geophysical Research Letters* (2023), авторы эксперимента отмечают, что «волны вистлера могут генерироваться в местах пересоединения <...>».

Теперь колорадские исследователи уповают на новые измерения.

просто не везло на таких людей», – говорил Ксанфомалити в интервью автору этих строк.

К Скарфу это не относилось ни в коей мере. Они с Ксанфомалити подружились. Началось все с того, что телетайп отстучал сообщение из Лос-Анджелеса: «Поздравляю вас с открытием молний на Венере на несколько дней раньше, чем это сделал я». Затем было знакомство вживую, совместная работа над написанием главы для коллективной монографии *Venus* (книга вышла в 1983 г. в Тусоне, штат Аризона) – *The electrical activity of the atmosphere of Venus* («Электрическая активность атмосферы Венеры»); также совместно с У.У.Л. Тейлором).

На родине о Скарфе писали: «Столь же общительный, сколь и эрудированный (*scholarly*), Скарф обожал обходить бюрократические преграды. Он был одним из пяти американских ученых, которые продолжили сотрудничать с советской космической программой даже после того, как НАСА запретили принимать в ней непосредственное участие. Скарф пошел на неполный рабочий день в Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе и использовал этот академический галстук, чтобы

«Гроза» зарегистрировала электрическую активность атмосферы Венеры в виде прямых электромагнитных волн от разряда, прибор OEFD – как волны, прошедшие через ионосферу в моде вистлера. Первая интерпретация: разряды возникают в облачном слое. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Атмосфера и поверхность Венеры // Земля и Вселенная. 1983. № 4

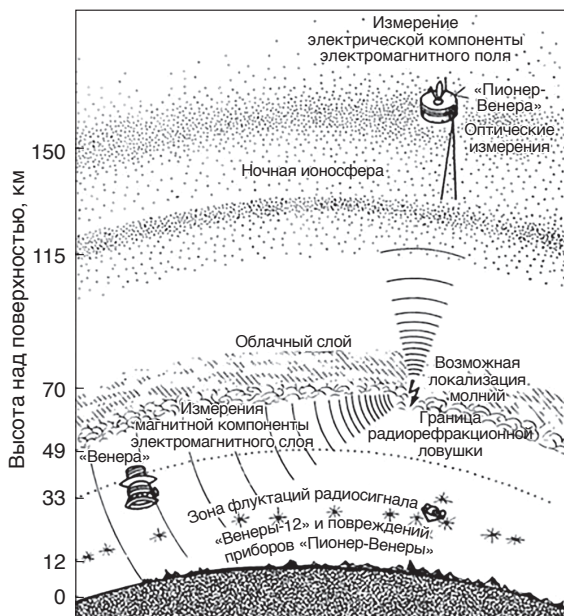
НАСА все же предоставило ему грант на продолжение его работы с советами».

12 июля 1988 г. 57-летний Скарф, руководитель эксперимента по изучению плазменных волн проекта «Вояджер», оказался в Москве, куда его пригласили на конференцию, посвященную старту «Фобоса-2». (Скарф принимал участие в подготовке научной программы двух АМС «Фобос».) Выглядел он вполне здоровым... пока буквально не рухнул на пол в стенах ИКИ. Его срочно доставили в одну из московских больниц. Экстренно прилетела жена – у Скарфа было четверо детей. 17 июля он скончался. Говорили про опухоль головного мозга, однако официальная причина смерти объявлена так и не была.

Ксанфомалити был поражен кончиной Скарфа и чтит память об американском друге – постоянно упоминал его в своих лекциях, книгах, статьях, интервью...

ВЕТЕР И МИКРОСЕЙСМЫ

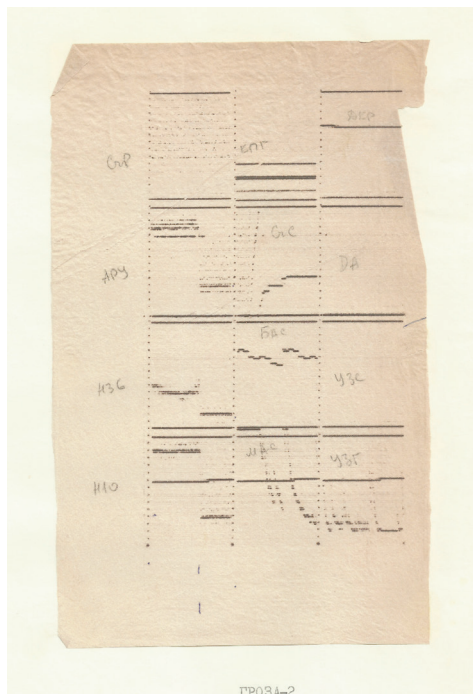
Итак, 21 декабря 1978 г. было впервые зарегистрировано низкочастотное электромагнитное излучение атмосферы Венеры, связанное с электрическими разрядами. Однако ге-



незис этой электрической активности требовал дальнейших исследований.

Подробно изложив принцип устройства «Грозы» в статье «Молнии в облачном слое Венеры» («Космические исследования», 1979), Ксанфомалити начал работу над усовершенствованным прибором «Гроза-2» – для АМС «Венера-13 и 14».

Станции были запущены 30 октября и 4 ноября 1981 г. (как и в 1978-м, это были пролетные аппараты). 27 февраля и 3 марта 1982-го – на расстоянии 33 тысяч км от Венеры – от станций отделились их спускаемые аппараты. 1 и 5 марта они вошли в атмосферу. На высоте 62 км раскрывался парашют (в этот момент включались научные приборы), на высоте 47 км (через 9 мин) он отбрасывался. На скорости 7.5 м/с аппараты коснулись поверхности. Тринадцатый один раз подпрыгнул и пришел в состояние покоя на рыхлой холмистой возвышенности – в 09:27 по солнечному времени Венеры; четырнадцатый приземлился юго-западнее – в 09:54. И тот и другой



Из архива Л.В. Ксанфомалити

сели на территории протяженной Равнины Навки (*Navka Planitia*), к юго-востоку от Области Фебы, – на расстоянии 900 км друг от друга.

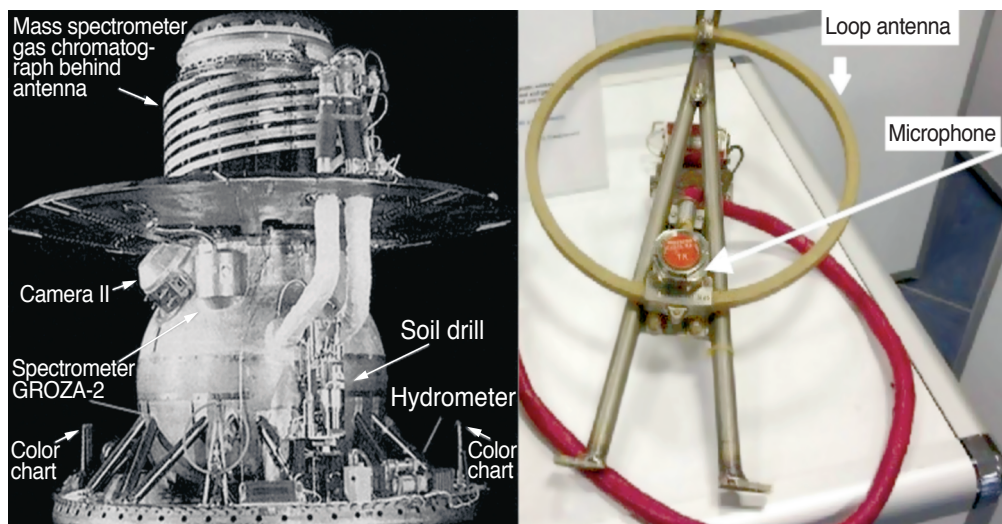
Если в 1978-м «Гроза» использовала для измерений четыре канала со средними частотами, то «Гроза-2» в 1982-м – только один – 10 кГц. Плюс – новый детектор в полосе 2 кГц. Один из этих каналов предназначался для «ловли» атмосферных частиц и регистрации их появления по электропроводности. Чтобы исключить возможную связь регистрируемых импульсов с электризацией самого аппарата, приборы «Грозы-2» были оснащены датчиками коронного разряда. Как и сама «Гроза», это дополнительное устройство имело внешнюю рамочную антенну диаметром 250 мм и реагировало на магнитную составляющую поля.

В ходе спуска аппаратов в венерианской атмосфере были снова обнаружены многочисленные электромагнитные импульсы. Результаты «Венеры-13» дали сравнительно низкую напряженность, примерно такую же, как в случае «Венеры-12». Но в отличие от последней высотная зависимость напряженности поля была выражена более слабо. На «Венере-14», где регистрировались импульсы с большой амплитудой, частота этих импульсов повторяла высотную зависимость «Венеры-11». Были отмечены два максимума: у 20 км и на высоте 8–12 км (пик у 45–47 км был связан с отделением парашюта, а не с природными явлениями). Да и вообще, почти все события в эксперименте «Гроза» отмечались, когда аппараты находились ниже уровня 30 км.

«Гроза-2» тринадцатого «десантника» проработала на поверхности около полутора часов, четырнадцатого – почти час. Никаких сигналов, не связанных с работой аппаратов, не принималось.

На поверхности Ксанфомалити замыслил поставить два оригинальных эксперимента. Первый: электромагнитный микрофон с металлической мембраной должен был измерить скорость ветра.

«Частотная характеристика микрофона вместе с усилителем по уровню 0.5 охватывала диапазон 0.2–4 кГц (в холодном состоянии) и смещалась в сторону низких частот при рабочих температурах, – писал Ксанфомали. – Работоспособность микрофона (согласно испытаниям) сохранялась до 500 °С. Эксперимент был пионерским, и точно предсказать изменение чувствительности микрофона в условиях Венеры не представлялось возможным. Поэтому на “Венере-13” была установлена высокая, а на “Венере-14” – низкая чувствительность акустического канала».



Слева: Десантный аппарат «Венера-13» с отмеченными на нем научными приборами. «Гроза-2» установлена снаружи, прямо над амортизирующим посадочным кольцом. Справа: Прибор «Гроза-1» (изображение представлено Ксанфомалити) с рамочной антенной и монтажной стойкой, а также микрофоном для обнаружения раскатов грома. Из статьи: Lorenz R.D. Lightning detection on Venus: a critical review...

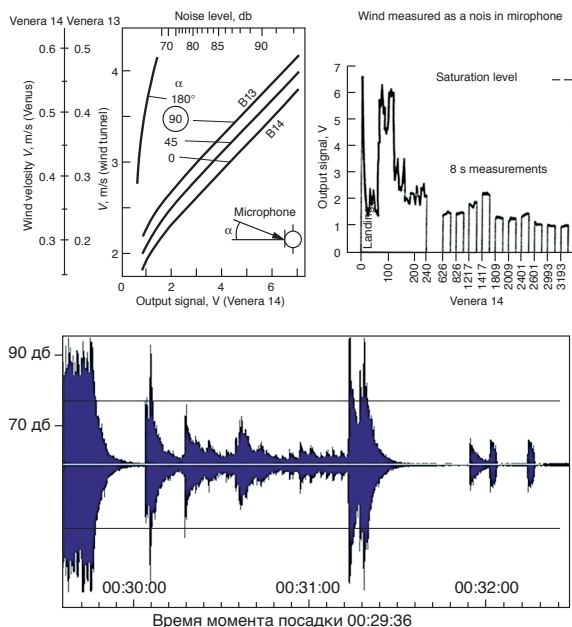
Куда более чувствительный, чем в 1978-м, микрофон держался на легком кронштейне, укрепленном на посадочном кольце (на высоте около 25 см над его верхней плоскостью). Собранные микрофонами информация передавалась в течение восьми секунд через каждые 6- и 3-минутные интервалы.

После посадки «Гроза-2» регистрировала шумы с уровнем до 90 дБ – это грохотали пиропатроны, буровая установка. Но наряду с этим был замечен и другой, несколько менявшийся шум от 70 до 80 дБ. Он и был интерпретирован как шум ветра. Скорость его составила 0.3–0.6 м/с (минимальное значение в районе «Венеры-14», максимальное – «Венеры-13»). Двойник микрофона – вместе с кронштейном и другими деталями – был помещен в аэродинамическую трубу, чтобы измерить, при какой скорости ветра возникает зафиксированная

на Венере величина шума. А потом пересчитывали скорость с учетом венерианских условий.

Кроме того, в составе «Грозы-2» имелся также миниатюрный (масса – 0.88 килограмма) сейсмометр – одноосный вертикальный сейсмодатчик высокочастотного типа, способный регистрировать вертикальные смещения грунта величиной около 1 мкм. Он представлял собой специальную конструкцию, жестко установленную снаружи, на посадочном кольце аппарата. Устройство позволяло воспринимать только вертикальную составляющую смещения грунта.

На Земле прибор был испытан при высоких (до 507 °C) температурах и изучен на предмет тех воздействий, которые могла бы оказать на его измерения работа самого «десантника». Это влияние постарались исключить. Тем не менее часть регистрограммы пришлось «выбросить» из рассмотрения,



Звуки Венеры. Из архива Л.В. Ксанфомалити

поскольку было известно, что в данный период были активны механические системы.

Эти сейсмодатчики электромагнитного типа проработали около часа. Тринадцатый «десантник» ни о каком подобию «труса» (так в старину на Руси называли землетрясения) не сообщил, а вот четырнадцатый два толчка, кажется, все-таки зафиксировал – на 1217-й и 1417-й секундах работы на поверхности. Амплитуда этих колебаний была небольшой, порядка нескольких микрометров. Согласно данным для Земли, удаленность источника при таких толчках может составлять три тысячи километров – примерно на таком расстоянии четырнадцатый «десантник» находился от массивов Бета (*Beta Regio*) и Феба.

Масштабных «венеротрясений» никто в общем-то и не ждал – рассчитывать застать их за столь короткий период работы приборов было бы наи-

вно, поэтому речь шла именно о *микросейсмах* – слабых (единицы или доли микрометра с периодом от единиц до десятков секунд) колебаниях грунта, которые на Земле возникают, например, ввиду волнения океана.

Ксанфомалити сделал вывод, что, с одной стороны, микросейсмсы – наличествуют, а с другой – что обстановка на поверхности планеты в целом спокойная. Его статья «Поиск микросейсмов на Венере» вышла в «Космических исследованиях» в 1983 г. «Амплитуда наблюдавшихся с тем же прибором микросейсмов в городе Фрунзе Киргизской ССР была в 10–100 раз выше. Действительная природа полученных в эксперименте микросейсмов остается неизвестной, так как они могли прийти от разных источников», – писал Ксанфомалити. Дело в том, что в основном сейсмика присуща тектонике плит, но сопутствует она и вулканическим извержениям.

ПОВЕЛИТЕЛЬ МОЛНИЙ

В работах 1979–1980 гг. в качестве источника импульсных полей Ксанфомалити рассматривал далекий грозовой фронт протяженностью в 120–150 км. По земным меркам это очень много. Возникло сомнение: «а был ли мальчик?»

Смущало и то, что действие источника сигнала прекратилось внезапно. Земные грозы обычно затухают постепенно.

В 1980 г. американский астроном Т.А. Крофт (*Croft*), выполнив собственный анализ результатов эксперимента «Гроза» и особенностей распространения радиоволн в плотной венерианской атмосфере, решительно

утверждал, что разряды происходят ниже 30 км, то есть километров на 20 ниже границы облачного слоя.

И сам Ксанфомалити, подводя итоги основного эксперимента «Гроза-2», вынужден был констатировать: «Наблюдающаяся высотная зависимость напряженности поля говорит о том, что источник поля (импульсные разряды) не может находиться высоко в атмосфере, на уровне облаков».

Кроме гроз, известны по меньшей мере два явления (в тропосфере и на поверхности планеты), создающие электромагнитные поля, подобные полям грозовых разрядов. Это разряды вблизи извергающихся вулканов и излучение земной коры, находящейся в состоянии механических напряжений.

В сущности, речь о трех способах, которыми планета избавляется от эндогенного тепла. Первый – тектоника плит. Это самый эффективный и в то же время наиболее экзотический способ, ибо, вероятно, присущ он в значительной мере только Земле. Второй, способ значительно менее эффективный, – диффузия тепла сквозь кристаллические породы. Наконец, третий – вулканизм. На Земле на тектонику плит приходится 65% всего эндогенного тепла, а на вулканизм – только 1%. Но есть и обратный пример: спутник Юпитера Ио практически все свое эндогенное тепло (несколько другого происхождения, чем на Земле) теряет через вулканизм.

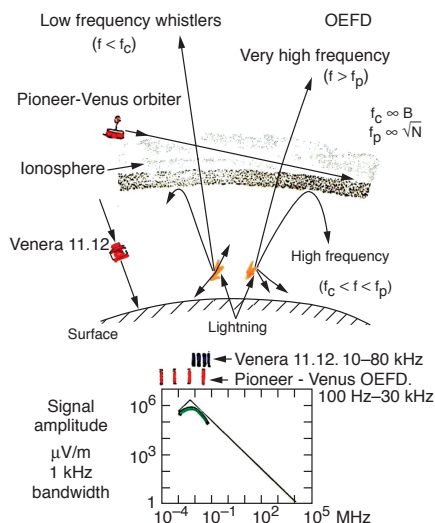
На Венере вулканов должно быть немало. Часть из них должна быть действующей. В условиях сильной рефракции (в результате преломления лучи в плотной атмосфере должны уходить далеко за горизонт) ночью извергающийся вулкан можно было бы видеть с довольно больших расстояний – как нечеткое аморфное пятно. Хотя, например, на Марсе современного вулканизма, судя по всему, нет совсем –

при множестве признаков того, что он, несомненно, был в древности. «Однако Венера по своему строению гораздо ближе к Земле, чем к Марсу, а вулканизм Земли доказательств не требует», – замечал Ксанфомалити.

На Земле большинство гроз концентрируется в Южной Африке, Южной Америке и на островах Юго-Восточной Азии – ввиду локальных метеорологических условий. На Венере – согласно наблюдениям Скарфа – такими регионами оказались как раз Область Бета и особенно южная ее часть – Область Фебы. А также, в меньшей степени, Область Атлы (*Atla Regio*) – восточная оконечность Земли Афродиты (*Aphrodite Terra*). В этих регионах предполагается наличие вулканов больших и даже гигантских.

Еще в статье «Электрические разряды в атмосфере Венеры», вышедшей в «Письмах в Астрономический журнал» в 1979 г., Ксанфомалити писал, что наличие мощного источника радио-

Схема работы приборов «Гроза» (на «Венерах-11 и 12») и OEFD (на AMC «Пионер-Венера-1»). Из архива Л.В. Ксанфомалити



шумов, обладающего настолько малыми размерами, что его можно считать точечным, объяснимо, если предположить существование венерианского вулканизма. «Но, поскольку о вулканической деятельности на Венере пока ничего не известно, – добавлял он, – попытаемся объяснить наблюдаемое явление с точки зрения грозовой активности атмосферы Венеры».

Ключевым было слово «пока».

В 1982 г. благодаря прогрессу в наземной радиолокации и анализу данных, полученных АМС «Пионер-Венера-1», районы с электромагнитными импульсами от электрических разрядов были сопоставлены с картой рельефа. «Статистическая привязка мест, где наблюдались разряды, к особенностям топографии планеты показала, что электрические разряды группируются у вполне определенных (молодых) горных районов Венеры», – писал Ксанфомалити.

«Если отбросить спорадические явления с единичными событиями, – продолжал он, – остается несколько точек, в которых наблюдались десятки разрядов. Эти точки полностью совпадают с районами, рельеф которых, согласно геолого-морфологическому анализу, определен как вулканические сооружения. Такая жесткая привязка разрядов к рельефу в случае грозовых облаков, по-видимому, невозможна».

Сильным аргументом в пользу современного венерианского вулканизма стали обнаруженные в Областях Атлы и Бета гравитационные аномалии – на Земле они присущи молодым (но не обязательно действующим) вулканам. Контуров Беты можно различить на подробных радиолокационных картах¹². Многочисленные лучи расхо-

дятся от большого центрального ядра. Предполагается, что это – застывшие лавовые потоки, а сама область – щитовой вулкан с поперечником около 800 километров. В центре изображения видна большая кальдера...

Словом, однажды Ксанфомалити осенило – он вспомнил картину Брюллова «Последний день Помпеи», изображенную там молнию на небе. Так, может быть, вот он, источник загадочных венерианских молний – действующие вулканы? Вспомнил Ксанфомалити и о том, что совсем недавно, во время мощного извержения вулкана Толбачик на Камчатке, которое продолжалось с июля 1975 по декабрь 1976 г., вокруг жерла и столба выбрасываемых пара и пыли также наблюдались многочисленные молнии. Возможно, одиннадцатый «де-сантник» опустился вблизи эпицентра извержения, ведь напряженность поля, отмеченная другими аппаратами, была меньше приблизительно в десять раз.

В 1977–1978 и отчасти 1979 гг. наблюдалось резкое обогащение стратосферы Венеры субмикронным аэрозолем, что заметно понизило поляризацию света. Именно в 1978-м в атмосфере Венеры был наконец найден сернистый газ – SO_2 ; он фотолитически окисляется в надоблачной атмосфере Венеры и вместе с имеющимся небольшим количеством водяного пара как раз образует серную кислоту. Ксанфомалити показал, что причиной этого может быть вулканическая активность.

Ими была составлена первая детальная карта Венеры от 30° северной широты до северного полюса. Лучшее разрешение составило 1–2 км. Еще более подробное картографирование Венеры (было охвачено 98% поверхности планеты, с разрешением в основном в 100 и даже в 75 м) выполнила американская АМС «Магеллан», вышедшая на орбиту спутника 10 августа 1990 г. (проработала до 1994 г.).

¹² Начатое американской АМС «Пионер-Венера-1» радиокартирование планеты продолжили наши станции «Венера-15 и 16», ставшие спутниками планеты 10 и 14 октября 1983 года.

Во время извержений земные вулканы выбрасывают большое количество углекислого газа, воды, соединений хлора, фтор. И конечно, серосодержащие газы – тот самый SO_2 , сероводород (H_2S), чистую серу (S). При этом, даже если допустить, что извержения венерианских вулканов являются поистине грандиозными, за несколько лет изменить концентрацию сернистого газа в планетарном масштабе они, конечно, не способны. На это потребовались бы миллионы лет. Однако непосредственно над вулканами атмосфера должна сильно нагреваться, а мощные восходящие потоки – выносить в надоблачный слой все же ощутимую, как показывают расчеты, «добавку» SO_2 . Для этого достаточно располагать десятком-другим вулканов гавайского типа. Для сравнения Ксанфомалити оперировал имеющимися данными о колоссальных выбросах знаменитого индонезийского вулкана Тамбора (1815 г.), который инспирировал многочисленные изменения в человеческой цивилизации – от изобретения велосипеда Карлом Дрезом до эпидемии холеры в России, «подарившей» нам Болдинскую осень Пушкина.

Так что, вероятно, в 1977–1979 гг. на Венере наблюдался всплеск вулканической активности. Если это так, Венеру можно назвать третьим телом Солнечной системы – наряду с Землей и Ио – с активным вулканизмом.

ОГОНЬ ЗЕМНОЙ, ОГОНЬ НЕБЕСНЫЙ

По горячим следам сообщение Ксанфомалити о первых итогах миссии «Венер-13 и 14» было опубликовано не где-нибудь, а в «Правде» – 8 марта 1982 г. Затем Ксанфомалити разрабатывал свою гипотезу скрупулезно, и в 1984-м появились две его обсто-

ятельные статьи – «Вулканизм на Венере: связующее звено?» («Письма в Астрономический журнал», Т. 10, № 8) и «Косвенные свидетельства проявления вулканизма на Венере» («Астрономический вестник», Т. 18, № 4). В Америке – в базирующемся в калифорнийской Пасадене журнале Планетарного общества *The Planetary Report* (№ 6, ноябрь – декабрь) – вышла его статья *Lightning, clouds and volcanoes* («Молнии, облака и вулканы»).

«Вулканическая гипотеза происхождения электрических разрядов ведет к значительному снижению как оценки энергий в разрядах, так и расстояний до них», – отмечал Ксанфомалити. Характерный тип молний при извержениях чаще всего имеет вид бесформенного клубка со сравнительно коротким каналом разряда – такими были, например, молнии во время извержения вулкана Эль-Чичон в Мексике 3 апреля 1982 г.

Гипотеза вышла и красивой, и символичной. Мифологический Вулкан, бог очистительного и разрушительного огня в Древнем Риме (лат. *Vulcanus* или *Volcanus*), изначально отвечал и за небесный огонь – молнии. В дальнейшем эти функции перешли к громовержцу Юпитеру (Зевсу). С развитием ремесел, связанных с использованием огня, Вулкан «переквалифицировался» в покровителя кузнецов и литейщиков – и стал смыкаться с древнегреческим Гефестом.

В восьмой песни «Одиссеи» рассказывается о том, как Венера изменила своему мужу Вулкану с молодым богом войны Марсом¹³. Согбенный мускулистый старик Вулкан не уделял пламенной супруге должного внимания – все трудился у наковален

¹³ У Гомера в этой истории фигурируют, конечно, греческие «персонажи» – Афродита («прекраснокудрявая Киприда»; перевод В.А. Жуковского), Арей, Гефест, Зевс (Зевес).

в своей кузнице, находя истинное наслаждение в работе с молотом у пылающего горна. Венеру же манил привлекательный Марс. В результате этого любовного союза родились Фобос и Деймос, божок Эрот...

Об измене Вулкан узнал от всевидящего Гелиоса – и вспылал ревностью и гневом. Он выковал тончайшую, невидимую глазу, но очень прочную сеть и приладил ее к ложу. В нее-то и попались незадачливые любовники. Хромоногий Вулкан тут же приковывал на «место преступления» и, видя, как Венера и Марс барахтаются в ловушке, принялся хохотать. Сбежались любовопытные, привыкшие к злословью и интригам боги. «Смотри, как я наказываю за неверность», – сказал Вулкан Юпитеру. Раскаты смеха Вулкана услышали и на земле – смертные называют их громом.

Вот такой любовный треугольник. Но если гипотеза Ксанфомалити верна, на планете Венера муж с женою живут в мире...

У гипотезы, однако, обнаружился изъян: ей противоречат данные, указывающие на незапыленность нижней части тропосферы. Об этом писал Скарф. Но, во-первых, и земные вулканы далеко не всегда выбрасывают пыль, а во-вторых, на Венере извержение происходит в среду с высокой плотностью, что значительно снижает скорость истечения газа. Кроме того, можно предположить, что из-за малой скорости ветра у поверхности пыль выпадает вблизи места извержения и не разносится на большие расстояния. «Если радиус самых мелких частиц близок к 0.1 миллиметра, а высота столба извергающихся пыли и газа не превышает нескольких километров, частицы выпадут в нескольких десятках километров от места извержения. На больших расстояниях атмосфера

могла бы остаться незапыленной», – рассуждал Ксанфомалити.

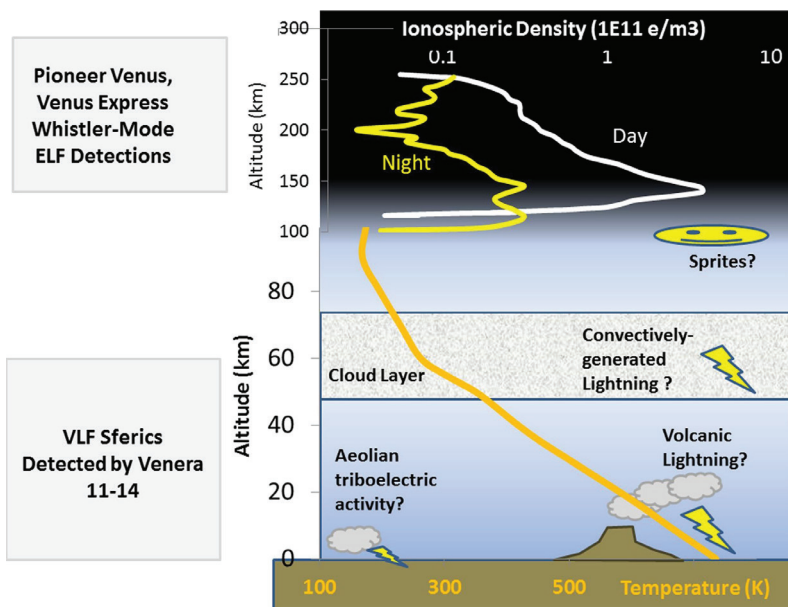
После того как в 1991–1992 гг. «Магеллан» обнаружил на Венере множество кратеров с потоками продуктов извержений (например, кратер Изабелла), Ксанфомалити писал: «И хотя пока еще технически трудно установить, что эти извержения происходят и сейчас, было бы очень странно, если бы они почему-то прекратились в наши дни». В 1995 г. эта точка зрения подкреплена рядом наземных наблюдений. А еще один довод в пользу вулканической активности планеты был получен в 2006-м – им стали спектрометрические данные, собранные в ходе европейской миссии «Венера-Экспресс».

По некоторым расчетам, венерианские вулканы (их должно быть больше полутора тысяч, в основном небольшие образования порядка 20 км в диаметре, но при наличии и тех, что превышают 100 км) выбрасывают сейчас около 0.5 км³ лавы в год, что близко к таким же данным для Земли.

Ксанфомалити подчеркивал, что гипотеза о вулканизме на Венере могла бы связать и объяснить явления из разных областей физики этой планеты – от возникновения многочисленных электрических разрядов в нижней части тропосферы до непостоянства характеристик облачного слоя.

ВЗГЛЯД ИЗ ДНЯ СЕГОДНЯШНЕГО

Открытие венерианских молний стало одним из самых ярких достижений планетной астрономии XX в. «Большую дискуссию в мировой научной общественности вызвало обнаружение Ксанфомалити низкочастотного спорадического радиоизлучения в нижней атмосфере Венеры. Вскоре возникла и любопытная гипотеза о вулканической активности планеты», – пишет



Структура атмосферы Венеры (включая ионосферу, достигающую максимума на высоте от 100 до 150 км от поверхности) и температурный профиль с основным облачным слоем на высоте около 60 км. Отмечены возможные области электрооптической активности – эоловые и вулканические разряды вблизи поверхности, конвективные молнии в облачном слое и кратковременные световые явления, такие как спрайты в мезосфере. Слева отмечены соответствующие высоты. Из статьи: Lorenz R.D. Lightning detection on Venus: a critical review...

главный научный сотрудник ИКИ Тамара Константиновна Бреус. Много полезных замечаний по поводу его гипотезы высказал Леониду Васильевичу глава планетного отдела ИКИ Василий Иванович Мороз (1931–2004).

В настоящее время предполагается наличие нескольких типов электрических разрядов в атмосфере Венеры. Среди них – молнии, порождаемые трибоэлектрическим эффектом эоловых процессов¹⁴. На высоте до 20 км это могут быть молнии, возникающие над действующими вулканами. В основном же облачном слое – на высоте 50–60 км – молнии также могут гене-

рироваться – конвекцией. Кроме того, на высоте примерно от 90 до 100 км могут существовать *спрайты* – электрические разряды холодной плазмы.

Даже у нас на Земле это явление было теоретически предсказано только в 1924–1925 гг. А первое фотографическое изображение того, что сейчас называют спрайтами, было получено (причем случайно!) только 6 июля 1989-го. Спрайты трудноразличимы; появляются в сильную грозу над молнией (через десятые доли секунды после удара; длятся менее 100 мсек) на высоте от 50 до 130 км (то есть значительно выше зоны возникновения наших «обычных» молний; для них максимум – 16 км от поверхности).

Спрайты представляют собой образования до 60 км в длину и до 100 км

¹⁴ Перенос пыли регулярными ветрами. Эол – персонаж древнегреческой мифологии, покровитель ветров.

в диаметре. Они часто возникают группами, подвижны, совершают «танцующие» движения. «Свечи» (вертикальные столбы света) могут достигать в спрайтах 20 км в высоту, а их пучок может быть диаметром в 70 км... До сих пор о физической природе спрайтов известно крайне мало.

Собственно, в этом и состоит один из аспектов проблемы: с конца 1970-х – начала 1980-х гг., экспериментов Ксанфомалити и Скарфа на Венере, на Земле был существенно расширен спектр оптических явлений, связанных с электрическими разрядами атмосферы.

Наряду со спрайтами к высотным разрядам относят «эльфов» – область красноватого свечения, достигающую 400 км в диаметре. Эльфы¹⁵ имеют форму тора, быстро расширяющегося в радиальном направлении. Рождаются электромагнитным излучением мощного тропосферного разряда – на высоте 80–100 км. Это – самые короткоживущие и в то же время наиболее часто встречающиеся (в глобальной атмосфере может наблюдаться до 35 событий в минуту) разряды.

Но есть на Земле и другие выбросы. Например, возникающие на высоте 40–70 км джеты – трубки-конусы синего цвета. Как видим, само понятие «молнии», возможно, требует определенных уточнений...

О молниях на Венере Ксанфомалити размышлял до конца своих дней. В рамках российского проекта «Венера-Д» он хотел подготовить модифицированный прибор «Гроза». В конце 2000-х – начале 2010-х гг. рассматривалась возможность кооперации с венгерскими учеными из Универ-

ситета имени Л. Этвеша в Будапеште – во главе с профессором Чабой Ференцем (*Ferencz*), который ставил свой прибор SAS для исследования земной ионосферы на малый космический аппарат «Компас-2» (2006–2007), а затем и на микроспутник «Чибис» (2011–2014)¹⁶. Так оформился замысел эксперимента для исследования электромагнитных полей, электрической активности и проводимости венерианской атмосферы – GROZA SAS-2. Предполагалось, что эксперимент будет состоять из трех блоков – GROZA SAS-2-O, GROZA SAS-2-B и GROZA SAS-2-D – в соответствии с архитектурой миссии: орбитальный аппарат (*orbiter*) + аэростат (*balloon*) + «десантник» (*descent* – «спуск») на спуск и посадку.

К сожалению, реализация проекта «Венера-Д» уже несколько раз откладывалась, и Ксанфомалити развить эту свою работу было не суждено... Ныне запуск АМС «Венера-Д» запланирован на 2031 г. Идея нового прибора «Гроза» – своего рода бренда Ксанфомалити – подхвачена сотрудниками лаборатории авроральных явлений отдела космической плазмы ИКИ. Планируется, что этот прибор будет установлен на аэростате.

ТАЙНЫ, ТАЙНЫ

Как видим, детективная история обнаружения молний на Венере и постижения их природы содержит в себе сразу несколько сюжетных линий. Была там и еще одна Венерина загадка.

Венерианские молнии должны внести определенный вклад в общий световой поток, идущий от планеты. Поначалу это казалось несомненным.

¹⁵ От английской аббревиатуры ELVES – *Emission of Light and Very low frequency perturbations due to Electromagnetic pulse Sources*: «излучение света и очень низкочастотные возмущения, вызванные импульсом электромагнитного источника».

¹⁶ Этот аппарат занимался исключительно исследованием особенностей электрических разрядов земной атмосферы – посредством комплекса научной аппаратуры «Гроза».

Было стремление связать с оптическим излучением молний пепельный свет Венеры¹⁷. После же анализа результатов «Грозы» и эксперимента OEFD это стремление переросло в искушение. Как заметил Ксанфомалити, искушение даже слишком сильное. Однако, чтобы видеть свечение ночной стороны Венеры с Земли, яркость этого свечения должна быть довольно большой. Но что если вспышек в оптическом диапазоне венерианские молнии не дают вовсе?

С целью обнаружить молнии оптическими средствами американские исследователи, работавшие с АМС «Пионер-Венера-1», пошли на изменение программы орбитера. 29 сентября – 14 ноября 1979 г. вспышки молний усиленно искали. В качестве фотометра использовался звездный датчик системы ориентации в нештатном режиме. Наблюдения выполнялись в течение 20 мин в периоды, когда станция находилась вблизи перигесперия, и охватили 36 витков орбиты аппарата, – никаких вспышек. Хотя в то же самое время низкочастотным прибором электромагнитные импульсы устойчиво регистрировались.

Помимо АМС «Пионер-Венера-1», поиск вспышек на ночной стороне планеты вели и другие орбитальные аппараты – «Венеры-15 и 16» (1983), «Венера-Экспресс» (2006). Безрезультатно!

Каждая из гондол аэростатов станций «Вега-1 и 2», «плававших» в облачном слое Венеры – на высоте 50–55 км – в течение примерно 48 часов в июне 1985 г., была оснащена фотодиодным датчиком освещенности, включавшим в себя электронный

фильтр высоких частот для обнаружения вспышек. Здесь также никаких сообщений о вспышках в итоге не поступило, кроме... Было все же отмечено, что счетчик вспышек средней яркости на аэростате «Веги-2» однажды «подпрыгнул». Но измерение является подозрительным, поскольку, в частности, оно было произведено вблизи терминатора¹⁸, где изменение высоты облачного слоя может порождать значительные вариации в освещенности окружающей среды.

10 февраля 1990-го об оптических вспышках молний ни словом не обмолвился и прибор LRD (*Lightning and Radioemission Detector*) на АМС «Галилео»¹⁹. Хотя оптических импульсов было зарегистрировано несколько сотен, все они были отнесены к солнечному свету со спиновой модуляцией в начале спуска или к космическим лучам...

Получалось, что результаты оптических экспериментов данным низкочастотных электромагнитных измерений противоречат. Ксанфомалити предположил, что по каким-то причинам электрические разряды на Венере могут иметь низкий световой выход. А современный исследователь Ральф Детлеф Лоренц (*Lorenz*)²⁰ – сотрудник Лаборатории прикладной физики Университета Джона Хопкинса (штат Мэриленд) – пишет, что электрические

¹⁸ Терминатор – линия светораздела, отделяющая освещенную (светлую) часть небесного тела от неосвещенной (темной) части.

¹⁹ Американская станция, совершившая (чтобы добраться до Юпитера) гравитационный маневр у Венеры.

²⁰ Для Европейского космического агентства Лоренц приводил оценку опасности удара молнии при спуске в атмосфере Титана зонда «Гюйгенс» (спуск состоялся 14 января 2005 г.). Заботы, правда, оказались напрасными: если на Юпитере и Сатурне молнии наблюдались уже неоднократно, то на Титане – единственном спутнике Солнечной системы с плотной атмосферой – ныне установлено их отсутствие...

¹⁷ Пепельный свет Венеры (слабое свечение ночной стороны шара – неосвещенная часть диска становится отчасти видимой) – одна из незагаданных загадок планеты. Реальность этого явления до сих пор остается неясной.



Ральф Лоренц – современный исследователь электрических разрядов в Солнечной системе. Ксанфомалити повстречался с Лоренцем в августе 2014 г. на ассамблее КОСПАР в Москве. И в дальнейшем Лоренц также расспрашивал Ксанфомалити о подробностях его эксперимента «Гроза». Фотография: jhuapl.edu / John Hopkins Applied Physics Laboratory (2017)

разряды в атмосфере Венеры, должно быть, «не дают» ни вспышек, ни радиоизлучения, которое регистрировалось бы из космоса на частоте, близкой к той, которая характерна для земных молний. То есть что венерианские молнии существенно отличаются от земных.

Но отсутствие оптических вспышек представлялось Лоренцу все же очень странным...²¹

Разгадать эту научную загадку не удалось.

СПАСЕНИЕ МИССИИ «АКАЦУКИ»

21 мая 2010 г. с национального космодрома Танегасима Япония запустила АМС «Акацуки» («Рассвет»). Одной из главных целей миссии была заявлена заветная регистрация электрических разрядов в атмосфере Венеры в оптическом диапазоне, и японцы трижды приглашали достопочтенного первоот-

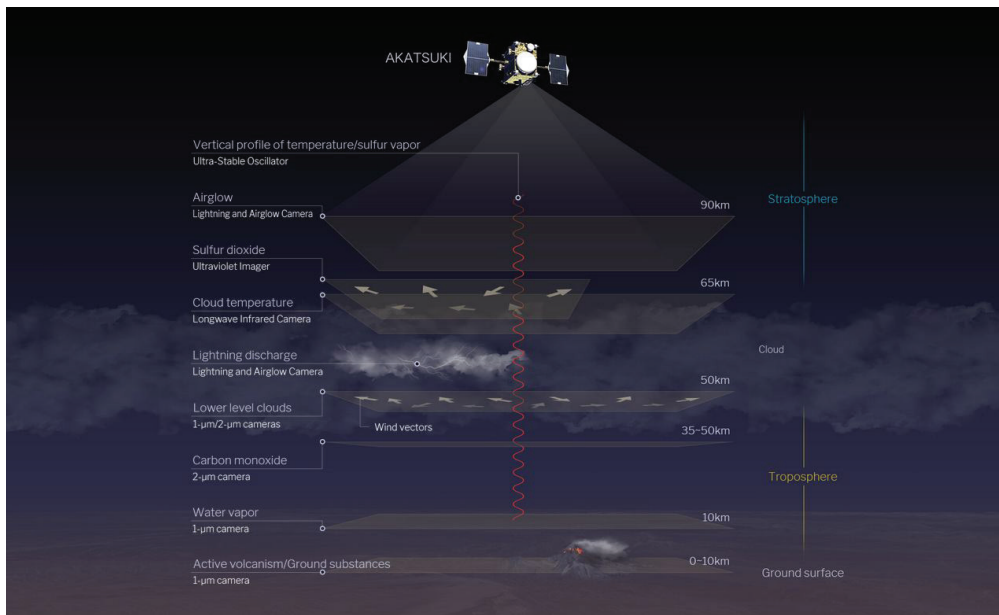
крывателя Ксанфомалити в свою страну. В последний раз он побывал там в феврале 2019-го.

7 декабря 2010 г. АМС «Акацуки» достигла Венеры, но – к огромному разочарованию – маневр выхода на орбиту сорвался. Отказал маршевый двигатель – основной двигатель космического корабля. Аппарат стал спутником Солнца. Казалось, что это конец. Прошло пять лет, пока разработчики не придумали, как выйти из положения: ведь был же еще верньерный (рулевой) двигатель!

«Верньер в радиотехнике – тонкая подстройка: чуть-чуть можно подкрутить, – объяснял Ксанфомалити. – То есть это слабенький двигатель, которым можно слегка подправить положение аппарата. Основную массу которого составляет топливо. Гидразин. А зачем гидразин, если маршевый двигатель не работает? Они открыли кран и вылили его в космос. Аппарат стал легким и восприимчивым к небольшим толчкам. Так удалось перевести аппарат на эрзац-орбиту Венеры. Конечно, это была не совсем та орбита, какую хотели изначально, но все же».

Искусственным спутником Венеры станция наконец стала в декабре 2015 г. В 2016–2017 гг. было получено

²¹ В феврале 2014 г., делая доклад «Электрические разряды в атмосфере Венеры», Ксанфомалити упомянул, что незадолго до этого в ИКИ выступал директор Международного центра изучения молнии Университета Флориды в городе Гейнсвилл Владимир Александрович Раков, который рассказывал об особом виде внутриоблачных разрядов без вспышек.



«Акацуки» изучает венерианскую атмосферу (в представлении художника). Слева отмечены объекты наблюдения и соответствующие приборы, справа – высоты наблюдения.
Изображение: akatsuki.isas.jaxa.jp / AKATSUKI Venus Climate Orbiter

свыше 600 изображений дневной и около 150 – ночной сторон планеты в ближнем инфракрасном диапазоне (в окнах прозрачности атмосферы планеты), в тепловом диапазоне 8–12 мкм, а также в видимом и ультрафиолетовом диапазонах.

Увы, многие уникальные криогенные приборы станции проработали не слишком долго, вероятно, по причине деградации электронных частей компьютерной системы. Виной тому чрезмерное воздействие космического излучения – скитания аппарата вокруг Солнца не прошли бесследно. Но даже те данные, которые японцам удалось собрать, стали для Ксанфомалити ценнейшим материалом – в ходе советских полетов к Венере такой материал получен не был.

Молнии японские исследователи решили отдать на откуп камере LAC

(*Lightning and Airglow Camera*)²². Тактика была избрана следующая: вести поиск вспышек в ультрафиолете (365 нанометров) на ночной стороне планеты.

Приборы для регистрации молний, установленные на искусственных спутниках Земли, обнаруживают 100–200 оптических вспышек в час. Десяток первых сеансов наблюдений LAC охватил несколько миллионов квадратных километров внешней границы облачного покрова Венеры. Если бы венерианские молнии вспыхивали с той же частотой, что и земные, обнаружений было бы много. Но их не было вообще... «С другой стороны, – писал на этот счет Лоренц, привлеченный к работе в рамках миссии «Акацуки», – вспышки на Венере могут быть такими же редкими, как земные «супермолнии» (их оптическая энергия составляет порядка

²² Камера для съемки молний и свечения воздуха.

10⁹ Дж). Сорок таких вспышек были замечены за два месяца наблюдений спутников *Vela* (в 1970-х гг. – С. К.) с большого расстояния на всем диске Земли (порядка 130 миллионов квадратных километров)».

Эксперимент LAC ограничен местным ночным временем. Для вулканических молний значения это иметь не должно, но если причиной возникновения молний на Венере является конвекция, управляемая Солнцем (как это преимущественно происходит на Земле), то наблюдения LAC ведутся в наименее благоприятные – наименее активные – периоды²³.

Так или иначе долгое время о результатах поиска ничего не сообщалось. Доложить японским товарищам было не о чем – *Zero*!

Впрочем, в декабре 2020 г. на конференции Американского геофизического союза (*American Geophysical Union*, AGU) команда, работающая с прибором LAC, сообщила, что по итогам сорока витков «Акацуки» вокруг Венеры одно событие все же было зарегистрировано. Это случилось 1 марта 2020-го – был сигнал, выглядевший как оптическая вспышка. Но, может быть, это был болид, стремительно сгоревший в венерианской атмосфере?²⁴ Отреагировали японские ученые сдержанно: делать выводы на основании этого единственного, не совсем понятного факта – нельзя. Надо продолжать наблюдения, ждать следующего события... И с тех пор – ничего.

²³ С другой стороны, не так давно было высказано предположение, что наиболее сильной конвекция на Венере может быть ранним вечером – это может быть обусловлено радиационным охлаждением вершин облаков.

²⁴ В 2023 г. в «Бюллетене Американского астрономического общества» была опубликована статья «Метеоры могут маскироваться под молнии в атмосфере Венеры».

НОВЫЙ ПОВОРОТ

...В конце апреля 2019 г. в интервью Ксанфомалити высказался несколько таинственно: «С момента открытия венерианских молний прошло больше 40 лет. Но все попытки увидеть вспышки в оптическом диапазоне были тщетными. Проанализировав же данные “Акацуки”, я вернулся к проблеме, когда-то затронутой в моей докторской, – к тепловому излучению Венеры²⁵. И что же вы думаете? Японцы уверяли, что они не могут найти вспышки молний. А я – нашел. Они оказались в тепловом диапазоне».

Получилось – «Эврика!» Дословно с греческого: «Я нашел!» Кому, как не Ксанфомалити, имевшему греческие корни, было это произнести.

Ксанфомалити утверждал, что созданный японцами прибор для поиска молний на ночной стороне Венеры не годится потому, что плотная венерианская атмосфера рассеивает свет – яркость пятна оказывается недостаточной, чтобы детектор ее взял. Только позже автор этих строк понял, что, вероятно, Ксанфомалити имел в виду, что справиться с этой задачей мог бы тепловой детектор.

Ксанфомалити добавил, что он написал на эту тему статью, послал японцам копию...

Как выяснилось впоследствии, 31 августа 2019 г., за неделю до смерти, Ксанфомалити подготовил финальную версию статьи «Инфракрасные наблюдения в миссии “Акацуки” объясняют происхождение глобальной -образной структуры облачного слоя и неизотропность освещенности в местах посадки аппаратов “Венера”». Предполагалось, что это будет совместная статья

²⁵ Докторскую диссертацию по теме «Тепловая асимметрия Венеры» Ксанфомалити защитил в 1977 г.



Японские коллеги Ксанфомалити. Слева: Специалист в численном моделировании атмосфер Хироки Кашимура, консультировавший Ксанфомалити по работе научного комплекса «Акацуки». Справа: Научный руководитель эксперимента IR2 Такехико Сато

с ученым, близким к команде «Акацуки», – специалистом в численном моделировании атмосфер Хироки Кашимурой из Центра планетарных наук Департамента планетологии Университета города Кобе.

14 апреля 2019 г. Ксанфомалити направил Кашимуре первое письмо. Ксанфомалити заинтересовала не LAC, а другая камера «Акацуки». 18-килограммовая инфракрасная камера IR2 (с фокусным расстоянием 84 миллиметра, полем $12 \times 12^\circ$). Охлаждаемая до криогенных температур платиново-кремниевая матрица имела разрешение 1024×1024 пикселей и 5 спектральных полос в ближнем инфракрасном диапазоне: 1.65; 1.735; 2.02; 2.26 и 2.32 мкм.

Максимум успешных наблюдений IR2 пришелся на август – сентябрь 2016 г. А уже в декабре камера перестала функционировать – ввиду проблем с электроникой контроллера изображения. Об этом сообщил Ксанфомалити научный руководитель эксперимента IR2 профессор Такехико Сато.

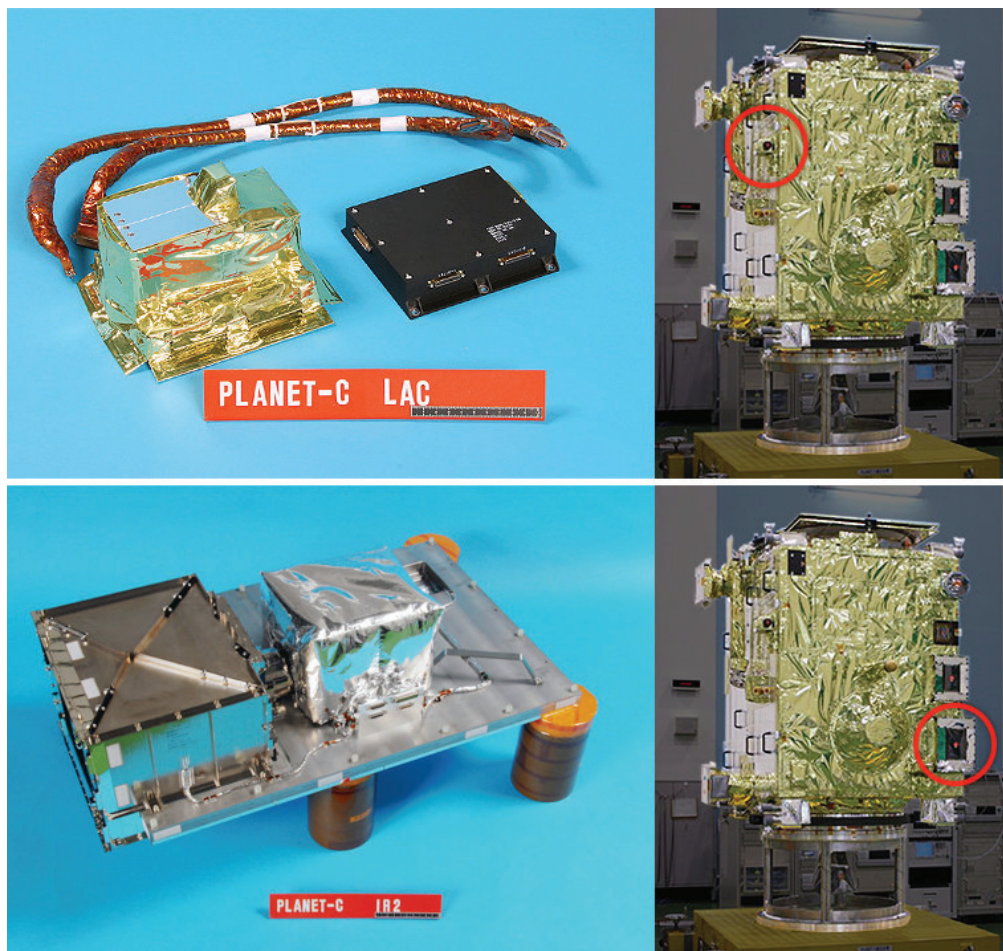
Последнее хорошее изображение было получено в октябре 2016 г.

Главной находкой в ближнем инфракрасном диапазоне стали опоясывающие планету атмосферные волны, подобные волнам Россби²⁶ в атмосфере Земли. Вероятно, именно эти атмосферные волны и образуют подножье глобальной Y-образной структуры, наблюдаемой в ультрафиолете на поверхности облачного слоя Венеры²⁷. Об этом Ксанфомалити и писал в первой части своей предпоследней в жизни статьи, упомянутой нами выше²⁸.

²⁶ Высотные ветра, оказывающие серьезное влияние на погоду. Названы в честь шведско-американского метеоролога К.-Г. А. Россби (1898–1957).

²⁷ Охватывающая широты $\pm 40^\circ$ Y-образная структура была обнаружена в 1927–1928 гг. Почти сто лет ее происхождение оставалось необъясненным.

²⁸ Во второй же части Ксанфомалити обратился к проблеме относительно быстрых изменений освещенности на поверхности планеты (за полчаса они достигали 25%), которые запечатлели телефотометры «Венер-13 и 14» (1 и 5 марта 1982 г.).



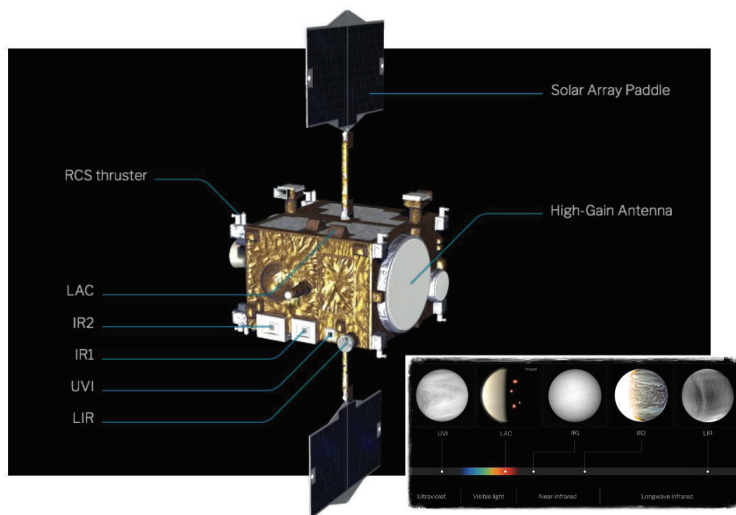
Камеры LAC и IR2 и их расположение на макете станции «Акацуки». Изображения: akatsuki.isas.jaxa.jp / AKATSUKI Venus Climate Orbiter

Ксанфомалити отмечал, что на сделанных IR2 инфракрасных снимках «видны многочисленные нерегулярные светлые области, которые относятся к пониженному поглощению или даже, возможно, к разрывам поглощающей среды». Обнаружено быстрое экваториальное течение в атмосфере в интервале высот от 45–47 до 60 км. Его скорость достигает 286 км/ч. Возможно, это течение и порождает изменения в освещенности.

Более того, затем Ксанфомалити предположил, что это могут быть не просто некие разрывы в облачном покрове, а его (его!) родимые молнии, вспышки которых он так чаял обнаружить.

Финальная версия статьи, уже самой что ни на есть последней статьи Ксанфомалити, была подготовлена им 1 сентября 2019 г. – за шесть дней до кончины. Ксанфомалити ставил точку – «Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне».

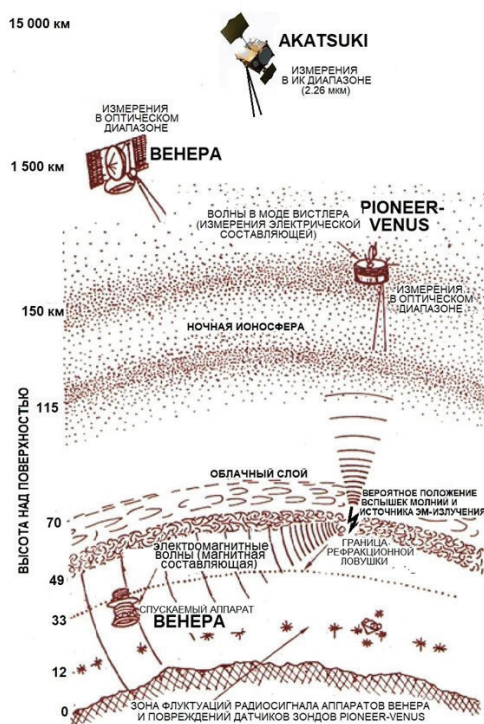
Схематичное изображение АМС «Акацуки» с обозначением ряда ее научных приборов, в частности, интересующих нас камер LAC и IR2. На врезке справа внизу: Длины волн, в которых работали приборы «Акацуки». Изображения: akatsuki.isas.jaxa.jp / AKATSUKI Venus Climate Orbiter



ОБРАБОТКА ИНФРАКРАСНЫХ СНИМКОВ

Ксанфомалити рассуждал: «Если разряды происходят в нижних слоях облаков, значительная экстинкция²⁹ в оптическом диапазоне настолько ослабляет вспышки, что их регистрация со спутников Венеры становится невозможной». Он удивлялся, почему столь очевидная причина не бралась в расчет целым рядом его предшественников³⁰.

В ближнем инфракрасном диапазоне величина экстинкции существенно ниже. При измерениях излучения на длине волны 2 мкм камера IR2 способна была запечатлеть подробную морфологию нижнего уровня облаков (оптические и ультрафиолетовые лучи блокируются верхним



Сравнительная схема работы аппаратов «Венера», «Пионер-Венера» и «Акацуки» при регистрации электромагнитного излучения молний и поиске их оптических вспышек. Из архива Л.В. Ксанфомалити

²⁹ Экстинкция (от лат. *extinctio* – «гашение») – термин, используемый в астрономии для описания поглощения и рассеивания электромагнитного излучения веществом (пылью и газом) за время прохождения между излучающим астрономическим объектом и наблюдателем.

³⁰ Очевидно, другие исследователи не оставляли надежды «поймать» молнии в среднем и верхнем облачном слое.



Изображение ночной стороны Венеры (в ложных цветах), синтезированное на основе изображений камеры IR2 на длине 1.735 и 2.26 мкм. Исходные изображения были получены 4 сентября 2016 г. akatsuki.isas.jaxa.jp / AKATSUKI Venus Climate Orbiter

слоем). Был собран достаточно богатый научный урожай. Полученные данные разместили на сайте DARTS (*Data ARchives and Transmission System*) Японского космического агентства JAXA.

Для изучения структуры ночных облаков в камере IR2 имелись узкие полосы у 1.735 и 2.26 мкм. Но так как минимальна экстинкция во втором случае, Ксанфомалити обратился к изучению снимков именно в полосе 2.26 мкм.

Ксанфомалити уже не сомневался, что для поиска молний инфракрасные изображения подходят лучше всего.

В удачные дни камера IR2 в фильтре «2.26 мкм» передавала до 60 снимков. Подавляющее их большинство имеет невысокое разрешение, всего несколь-

ко сотен линий на изображение. Интерес для поиска молний они не представляли. Благо имелось все-таки и некоторое количество неплохих снимков, причем в нескольких случаях складывалась последовательность из 2–3 изображений, что позволяет проследить развитие событий. Правда, качество изображений в последовательности было неоднородным, что все же усложняло изучение. Ксанфомалити констатировал, например, что «некоторые изображения безупречны, но не все снимки одинаково сфокусированы». В результате в его распоряжении оказалось только около десяти снимков.

Так уже в третий раз³¹ Ксанфомалити засел за обработку изображений.

«Следует отметить, что изображения, полученные камерой IR2, находятся на пределе возможностей современной измерительной техники. Температура детектора поддерживалась на криогенном уровне 45–69 °K (–228 ... –204 °C. – С. К.). Как обработка, так и последующий анализ изображений требуют от исследователя определенной деликатности. Только аккуратно обработанные изображения, с тщательно выбранными характеристиками обработки, были пригодны к анализу», – комментировал он.

Алгоритм действий был таков:

1. Выбиралась ночная часть конкретного изображения в формате fit и из архива извлекались его паспортные данные (приводимые в файлах с расширением <.lbl>³²), например, снимок 20 октября 2016 г. – `ir2_20161020_094833_226_l2b_10.lbl`.

³¹ Вслед за собственными наземными электронными снимками диска Меркурия (Ксанфомалити наблюдал Меркурий в 1999–2008 гг.) и телевизионными изображениями, полученными с венерианской поверхности в 1975 и 1982 гг. (ими он занимался в течение 2000-х – первой половине 2010-х гг.).

³² LBL – формат меток, используемый инструментами управления базами данных.

2. На калиброванных изображениях выделялись реперные участки, шкала яркости которых была известна, – для сохранения примерной шкалы яркости при дальнейшей обработке.

3. Резкость изображения повышалась с помощью стандартных операций повышения четкости, например, программ, использованных для повышения резкости изображений Меркурия.

4. Ксанфомалити: «Уровни “черного” и “белого” можно было аккуратно изменять с помощью программы AIMAP³³, разработанной В.О. Кахиани. (Таковыми же возможностями обладают многие популярные программы.) Выбирались уровни “черного”, позволяющие обнаружить детали с аномальной яркостью».

Бинго!

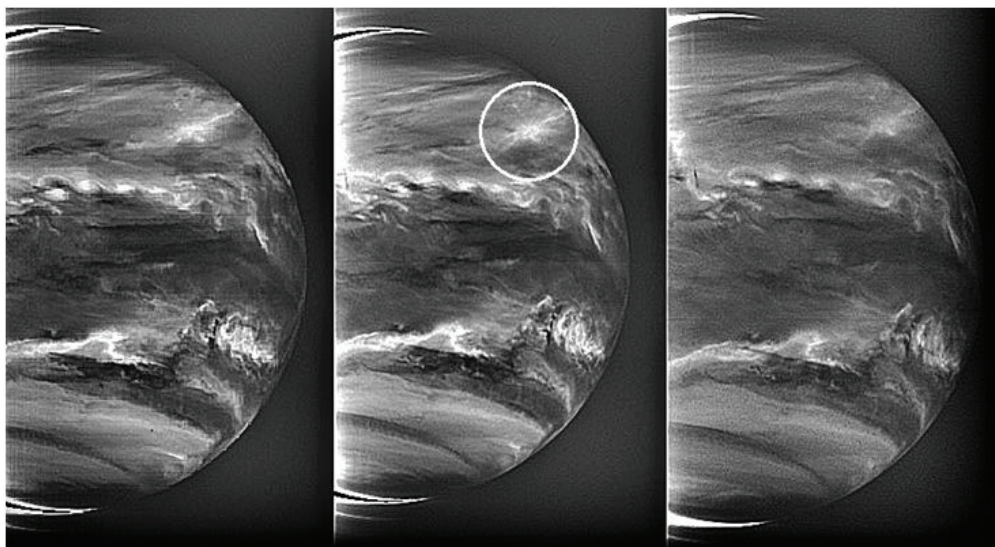
³³ *Astronomical IMAge Processing*; «Обработка астрономических изображений».

Вспышки молний были обнаружены не в оптическом, не в ультрафиолетовом, а в ближнем инфракрасном диапазоне.

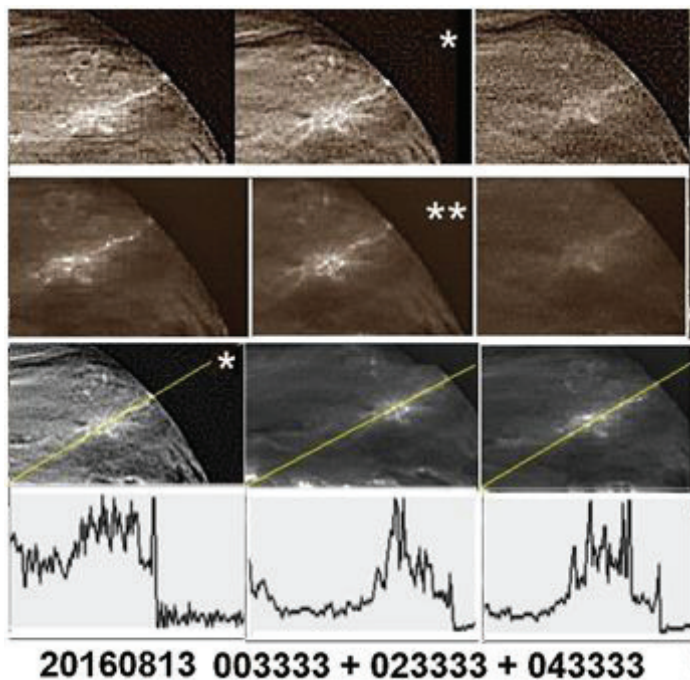
МОЛНИИ И СУПЕРМОЛНИИ

13 августа 2016 г., с двухчасовыми интервалами, были сделаны «три ночных снимка безукоризненного качества», с высоким разрешением: r0023_20160813_003333 (расшифровывается так: номер витка орбиты аппарата, дата и начало экспозиции), ...023333 и ...043333 (иллюстрация ниже).

«...Контрастная система светлых и темных полос напоминает пояса и зоны Юпитера, но сходство, конечно, только внешнее. Наиболее четкий рисунок – средний, ...023333. Светлая полоса, которая проходит примерно вдоль северной широты 20°,



Ночные снимки в длине волны 2.26 мкм, полученные 13 августа 2016 г. с интервалами в 2 часа. Звездообразный L-объект с лучами (в кружке) на широте примерно 36° с.ш. наиболее четко представлен на среднем снимке (...023333). Его размеры около 600 км, лучи уходят на 1000 км. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне



Верхний ряд – L-объект на трех последовательных снимках; второй ряд – те же снимки со смещенным вверх уровнем черного; ряды 3 и 4 – распределение яркости вдоль линий сечения на втором и первом рисунках. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне

распадается на периодические волнообразные сгущения, разделенные интервалами по 9° . Выше на снимках, на широте около 36° , и в 30° к востоку от центра среднего снимка <...> находится интересное метеорологическое образование (в белом кружке), назовем его L-объектом. Это яркая кольцевая структура диаметром около 600 километров, с исходящими радиально направленными лучами (длиной до 1000 километров. – С. К.). В центре структуры видна яркая деталь.

Ее координаты, если их относить к поверхности, примерно 36° с.ш. 86° в.д. (западная часть *Asteria Regio*³⁴). По виду L-объект с его радиальной периферией напоминает ночные снимки наиболее крупных земных городов. Автору неизвестно, к какому типу объектов земной метеорологии следовало бы отнести L-объект, во всяком случае, на циклоны

он не похож, а для следов метеоритного удара он слишком велик».

Обратимся к следующему рисунку.

«...Последний снимок (...043333) был недостаточно сфокусирован при съемке, и исправить этот дефект не удалось. Поэтому здесь яркие точки размыты и видны плохо. Звездочками помечен средний, наиболее удачный снимок (...023333). В третьем и четвертом рядах показаны сечения, проходящие через L-объект. <...>

Трудно найти и объяснить другое их (ярких точек. – С. К.) происхождение, кроме вспышек молний. Причем на снимках виден не рассеянный облаками свет грозы, а сами вспышки, на что указывают регистрация событий единичными пикселями и их насыщение. Соответствует ли ядро L-объекта рисунка полному разрыву облаков или только их значительному утоньшению, судить трудно. Как бы то ни было, оптическая толща среды над ним невелика.

³⁴ Область Астерии.

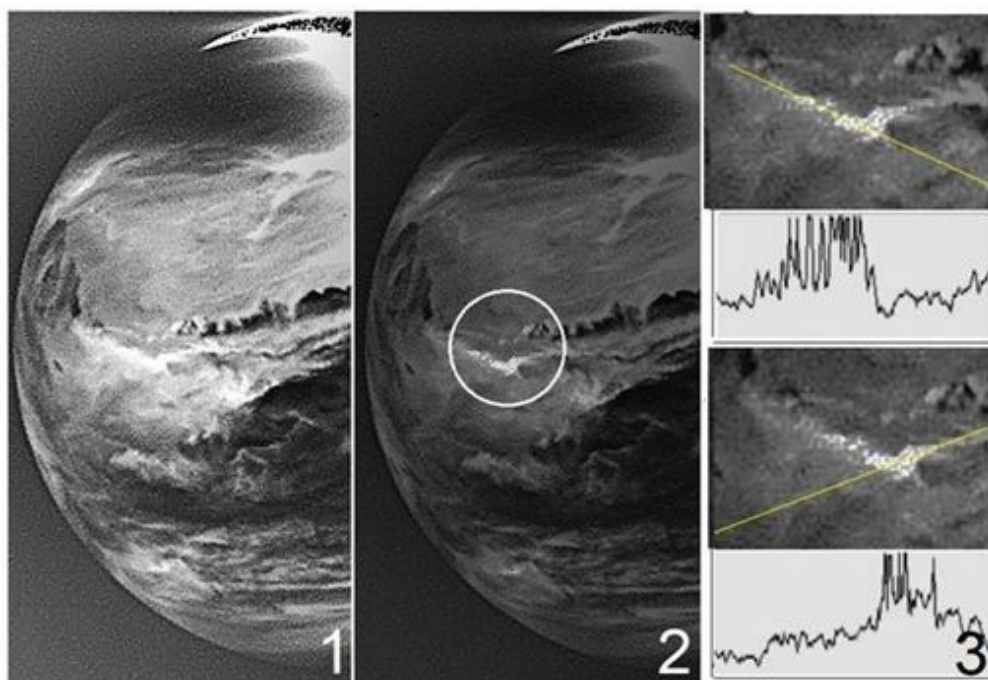
О природе L-объекта можно строить разные предположения. Обращают на себя внимание его огромные масштабы (более 600 километров), а его упорядоченная структура не повторяется ни на одном из других снимков и скорее должна быть связана с локальными особенностями конвекции.

Здесь Ксанфомалити отсылал к работам о венерианском вулканизме – работам своим и Ларри Эспозито (*Esposito*) из Университета Колорадо в Боулдере. Мол, такие характеристики должны быть присущи еще и каким-то элементам геологии, а не только метеорологии, например, атмосферным явлениям над большим извергающимся вулканом вроде уже упомянутого вул-

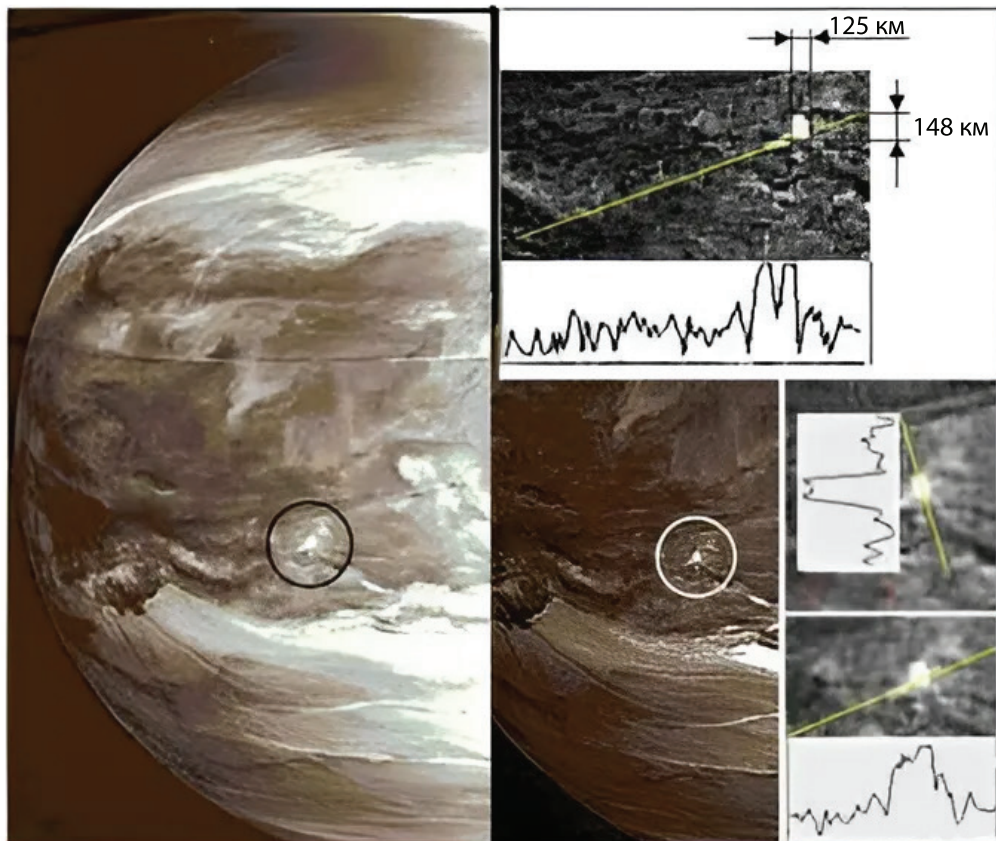
кана Тамбора. Мощная конвекция могла вызвать локальные разрывы облачного слоя и обнажения того интервала высот, где возникали молнии. Поэтому-то их и удалось увидеть!

Группы частых вспышек, соответствующих результатам экспериментов «Гроза» и OEFD, найти Ксанфомалити долго не удавалось, и потому поначалу он сосредоточился на признаках отдельных супермолний – с огромной мощностью в разряде, до 10^3 ГВт. «Такие явления выбирались из сравнения последовательных снимков как четкие, но не повторяющиеся детали, иногда с лучами».

«Яркое пятно на рисунке, в черном кружке, имеет размеры 5–7 пикселей (120–150 километров). Средняя длина



(1) – Исходный снимок, сделанный 20 октября 2016 г., с яркой полосой в экваториальной области. Координаты подспутниковой точки 8.26° ю.ш. 182° в.д. (2) – Тот же рисунок с порогом воспроизводимых яркостей $>140 \text{ мВт м}^{-2} \text{ мкм}^{-1} \text{ ср}^{-1}$ (единицы измерения яркости в инфракрасном диапазоне; ср – стерадиан). (3) – Распределение яркости вдоль линий сечения. Все яркие точки соответствуют уровню насыщения элементов детектора. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне



Отдельные неповторяющиеся точечные детали, некоторые с лучами, обладают высокой яркостью, вплоть до уровня насыщения детектора. Предположительно их можно отнести к глубоким разрывам облачной среды или к вспышкам супермолний. Яркость вдоль наклонных линий на фрагментах изображений показана диаграммами. Седловина на максимуме графиков обычно указывает на достигнутый уровень насыщения детектора. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне

земной молнии – несколько километров, но максимальная зарегистрированная – более 300 километров. Пятно на рисунке обладает высокой яркостью, вплоть до насыщения детектора, что показано наклонными сечениями на рисунке. Чтобы столь высокая яркость наблюдалась у пятна площадью $1.5 \cdot 10^4 \text{ км}^2$, предположительно пятно можно отнести к рассеянному излучению от вспышки супермолнии. Яркость вдоль наклонных линий на фрагментах изображений показана диаграм-

мами, указывающими на насыщение детектора. Но возможно и другое происхождение пятна – локальный разрыв в облаках, протяженностью до 150 километров. Тогда высокая яркость является следствием высокой температуры излучающей среды».

К сожалению, снимок r0011_2016-0325_073333 оказался единственным – последующих снимков за 25 марта нет.

А вот размышления Ксанфомалити над другим снимком...

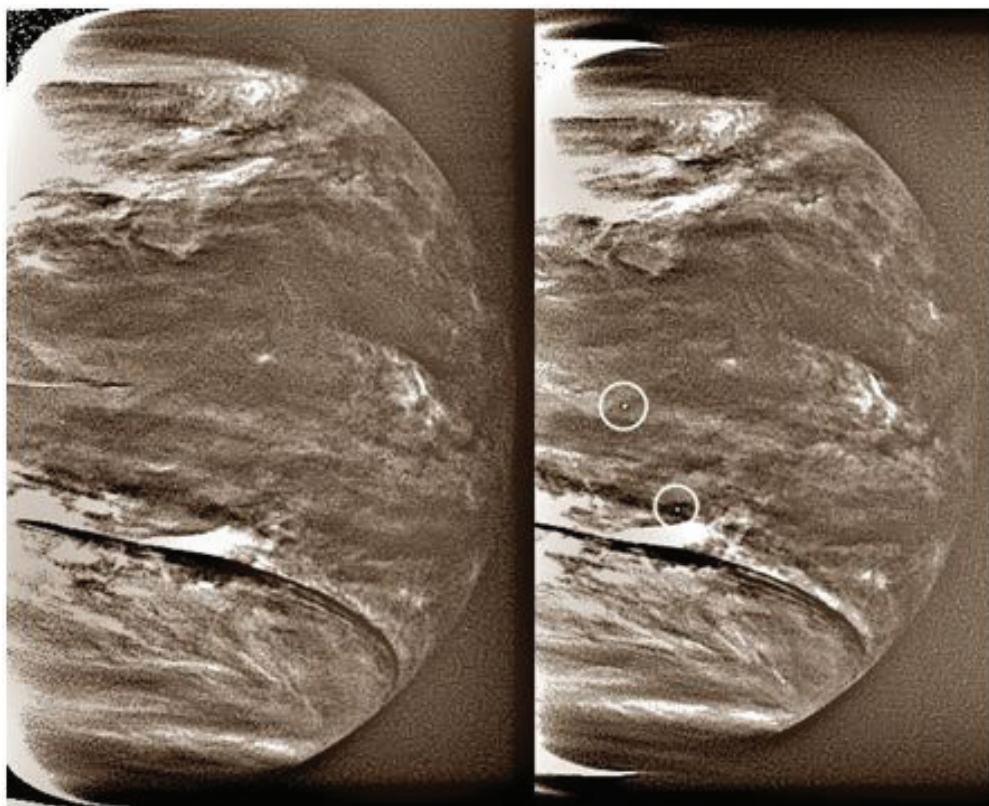
«Возникновение глубокого точечного разрыва в облаках объяснить сложно. Выделенная деталь могла бы быть одиночной супермолнией. Яркие точечные источники отмечены белыми кружками. Снимки были получены 2 августа 2016 года. Точечные объекты присутствуют только на втором снимке».

Ксанфомалити обнаружил и еще около десяти подобных объектов.

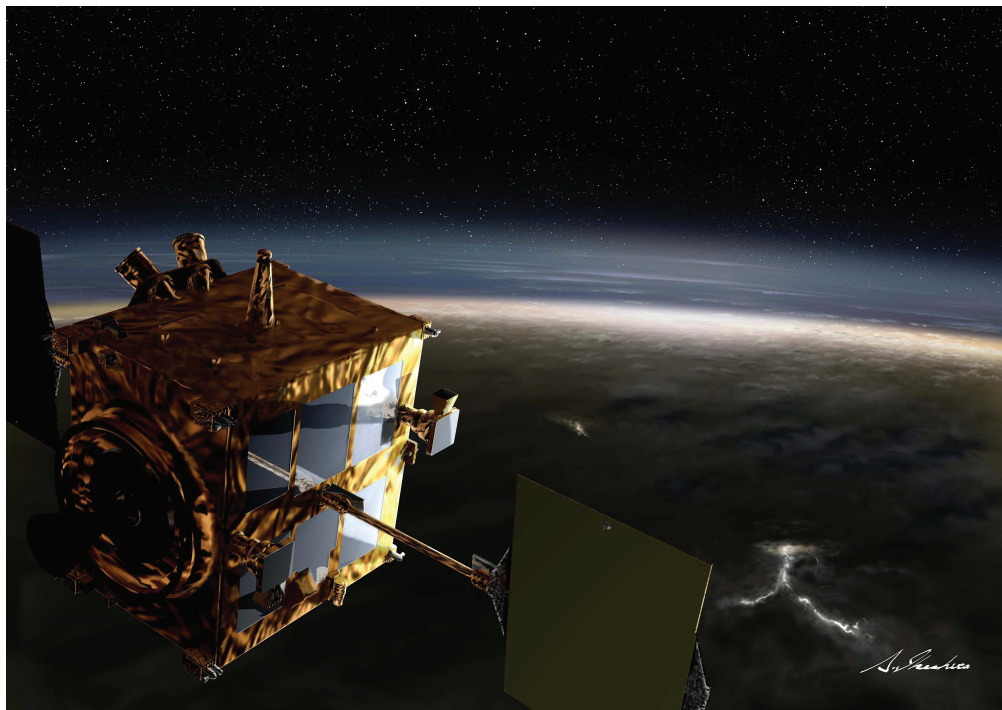
«Интересные сами по себе, они, тем не менее, не согласуются с высокой частотой (скоростью счета) электромагнитных импульсов (зарегистрирован-

ных “Грозой”. – С. К.). Если происхождение группы ярких точек ничем, кроме молний, объяснить не удастся, то одиночные элементы изображения можно отнести и к супермолниям, и к точечным разрывам, возникшим неизвестным образом».

Резюмируя, Ксанфомалити писал: «Рассеивающие свойства облачной среды Венеры в интервале высот 49–57 километров значительно ослабляют яркость вспышек молний, возникающих в нижних слоях облаков. Поэтому уверенная регистрация вспышек возможна лишь в разрывах облаков,



Яркие точечные объекты имеют размеры около 30–50 км. Пара изображений позволяет сопоставить два снимка, полученных с двухчасовым интервалом 2 августа 2016 г. Яркие, до уровня насыщения детектора, мелкие детали на левом снимке отсутствуют. Из статьи: Ксанфомалити Л.В. Вспышки молний в облачном слое Венеры обнаружены в ближнем инфракрасном диапазоне



«Акацуки» в поисках венерианских молний (в представлении художника Акихиро Икешиты).
Изображение: akatsuki.isas.jaxa.jp / AKATSUKI Venus Climate Orbiter

а немногочисленные районы ослабленного излучения вспышек можно обнаружить лишь там, где оптическая толщина среды невелика».

«Природа одиночных объектов, обладающих малыми размерами, но очень высокой яркостью, остается неизвестной. Одно из возможных предположений – одиночные супермолнии с энергией до 10^{14} джоулей».

ПО СЛЕДУ

Помимо самой статьи, подготовил Ксанфомалити и англоязычное саммари – *Bright flashes of lightning on Venus were recorded in infrared images of the “Akatsuki” mission* («Яркие вспышки молний на Венере были запечатлены на инфракрасных снимках миссии “Акацуки”»). Доклад именно с таким названием Ксан-

фомалити успел заявить в программу 10-го Международного московского симпозиума по исследованиям Солнечной системы, который был намечен в ИКИ на начало октября 2019 г.

20 августа Ксанфомалити написал письмо в редакцию журнала *Nature*.

«Уважаемый г-н редактор!

39 лет назад Вы опубликовали мою статью *Discovery of frequent lightning discharges in clouds of Venus*³⁵ (1980. V. 284. № 5753. P. 244–246) – об электромагнитных импульсах, сопровождающих электрические разряды в атмосфере Венеры. С тех пор было проведено много безуспешных поисков оптических вспышек молний. Статьи о значительном угасании оптических вспышек в облачном слое Венеры обычно

³⁵ «Открытие частых грозовых разрядов в облаках Венеры».

игнорируются, и высказываются сомнения в реальности этого явления, несмотря на систематическую регистрацию электромагнитных импульсов с орбитальных и пролетных аппаратов. В японской миссии “Акацуки” поиску оптических вспышек в ультрафиолетовом диапазоне был отдан наивысший приоритет, но результаты, похоже, получены не были. Причина представляется мне очевидной: в ультрафиолетовом диапазоне угасание особенно значительно.

По совету моего коллеги *H. Kashimura* я обратился к руководителю экспериментального поиска *Yukihiko Takahashi*³⁶ (из Университета Хоккайдо. – С. К.), предложив решение проблемы путем перехода от ультрафиолетового к инфракрасному диапазону эксперимента, который также есть в миссии “Акацуки”. Несмотря на напоминание *H. Kashimura*, проф. *Y. Takahashi* не ответил мне, вероятно, это разновидность научной ревности. Кстати, авторство нашей с покойным Фредом Скарфом находки даже не упоминается. Поэтому если Вы отправляете поступающие рукописи на стороннее рецензирование, пожалуйста, не отправляйте мою *Y. Takahashi* и его группе.

И не отправляйте, пожалуйста, группе Криса Рассела (*Russell*; Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе). Хотя д-р Рассел продолжил работу Фреда Скарфа, например, зарегистрировав электромагнитные импульсы

на АМС “Венера-Экспресс”, он ведет себя странно по отношению к статьям авторов открытия³⁷.

С наилучшими пожеланиями,
Леонид Ксанфомалити».

Но до *Nature* статья Ксанфомалити, очевидно, так и не добралась. Как и до «Астрономического вестника», хотя есть основания полагать, что изначально статья готовилась именно для этого журнала³⁸. Возможно, в этом и был некий высший замысел. Ксанфомалити не стало, и статья покорно ждала своего часа, пока, идя по следам своего героя, распутывая всю эту запутанную историю и словно перемещаясь в прошлое, ее в январе 2023 года не обнаружил автор этих строк.

Ныне статья опубликована в журнале РАН «Космические исследования» (2024. Т. 62. № 1) и в его англоязычной версии – *Cosmic Research* (2024. № 1)³⁹.

Автор благодарит: супругу Ксанфомалити Ирину Викторовну Шульгину – за предоставленные материалы из архива Леонида Васильевича; Дмитрия Горина (ИКИ РАН), Ральфа Лоренца и Хироки Кашимуру – за научные консультации.

³⁶ В апреле 2019-го Ксанфомалити написал ему, в частности: «...Д-р *Kashimura* сообщил мне, что результаты Вашей командой получены не были. При этом я вижу множество вспышек на изображениях “Акацуки”. Простите, но мне кажется, я знаю, в чем Ваша ошибка. И почему вспышки молний не замечались ранее. Если кто-то из Ваших коллег заинтересуется, я готов к сотрудничеству. Очень жаль: только недавно я вернулся из Японии, мы могли бы повстречаться. Если Вы готовы посетить Москву, я в Вашем распоряжении».

³⁷ Вероятно, Ксанфомалити имел в виду, в частности, следующее: наблюдавшиеся OEFD на ночной стороне Венеры сигналы (наиболее заметные на частоте 100 герц) были интерпретированы Скарфом как излучение молний в моде вистлеров; Рассел же впоследствии (как это недавно сделали и ученые, работавшие с данными *Parker Solar Probe*) попытался поставить этот вывод под сомнение. Мол, в космосе возможны и другие плазменные явления, к молниям в данном случае отношения не имеющие. Этим сигналам были предложены альтернативные объяснения, породившие обширные дебаты в научной литературе конца 1980-х – начала 1990-х гг.

³⁸ Ксанфомалити в нем регулярно публиковался, с 1978 г. был членом его редколлегии.

³⁹ *Lightning flares in the cloud layer of Venus detected in the near-infrared range*. См.: <https://link.springer.com/article/10.1134/S001095252370082X#article-info>

ВКЛАД Т.М. ЭНЕЕВА В ПЛАНЕТНУЮ КОСМОГОНИЮ

ИПАТОВ Сергей Иванович,

доктор физико-математических наук

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

DOI: 10.7868/S0044394824050050



Академик Т.М. Энеев в своем кабинете. 1990-е гг.

Академик Тимур Магометович Энеев (1924–2019) известен в первую очередь своими исследованиями в области теоретической и прикладной космонавтики¹. Недавно отмечалось столетие со дня его рождения. Исследования Т.М. Энеева сыграли большую роль при полете на корабле

«Восток» Ю.А. Гагарина. В частности, им были разработаны оптимальные программы управления направлением и величиной тяги ракеты, которые позволили увеличить полезный вес, выводимый ракетой на орбиту. Т.М. Энеев изучал эволюцию орбиты спутника в верхних слоях атмосферы и сделал расчеты зависимости высоты апогея от времени его нахождения на орбите. Им было показано, что для спуска в атмосфере лучше использовать спускаемый аппарат в форме сферы. Тимур Магометович с сотрудниками Института прикладной математики им. М.В. Келдыша АН СССР также разрабатывали методы расчета орбит спутников по данным траекторных измерений и изучали полеты космических аппаратов с малой тягой. Его основной вклад в космические исследования не в его публикациях, а в успешном освоении космического пространства. Вместе с доктором физико-математических наук Н.Н. Козловым в 1970-х гг. и в начале 1980-х гг. он занимался также моделированием эволюции галактик и аккумуляции планет Солнечной системы. С 1980-х гг. Т.М. Энеев вместе с Г.Б. Ефимовым и Р.З. Ахметшиным занимался проблемой астероидной опасности. Астероид 5711 Eneev назван в честь Тимура Магометовича.

¹ Боровин Г.К., Голубев Е.Ф., Ефимов Г.Б., Козлов Н.Н., Тучин А.Г. Тимур Магометович Энеев (к 95-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная, 2020, № 4. С. 72–87; Ипатов С.И. Т.М. Энеев как научный руководитель и человек // Дельфис. 2024. № 4. С. 50–54; Голубев Ю.Ф. Научное наследие академика Т.М. Энеева // Космические исследования. 2024. Т. 62, № 5. С. 391–402.

РАБОТЫ Т.М. ЭНЕЕВА ПО АККУМУЛЯЦИИ ПЛАНЕТ

В середине 1970-х гг. Т.М. Энеев предложил новую модель образования планет Солнечной системы. В то время в модели, развивавшейся в Институте физики Земли АН СССР и за рубежом, считалось, что планеты земной группы и ядра планет-гигантов образовались путем аккумуляции твердых тел – планетезималей, которые сформировались при сжатии разреженных пылевых сгущений. В модели Т.М. Энеева и Н.Н. Козлова считалось, что протопланетный диск разбился на множество сгущений, которые достаточно плотно заполняли диск (покрывали около 80% диска). При расчетах считалось, что сгущения двигались вокруг Солнца, не сжимаясь, по почти круговым орбитам и объединялись при столкновениях, образуя в конце эволюции сгущения с массами современных планет и радиусами на порядок большими радиусов сфер Хилла планет². При вычислениях начальное число сгущений бралось равным 25 600. Образовавшиеся планеты имели орбиты, близкие к орбитам современных планет. Времена аккумуляции планет земной группы в их модели были порядка десятков тысяч лет. В этих расчетах получалось образование нынешних планет и обратное вращение Венеры. Основные результаты были опубликованы кратко в статье 1979 г. в журнале «Письма в Астрономический журнал» и более подробно в двух статьях в журнале «Астрономический вестник» и в статье в журнале «Advances in Space Research» в 1981 г.³

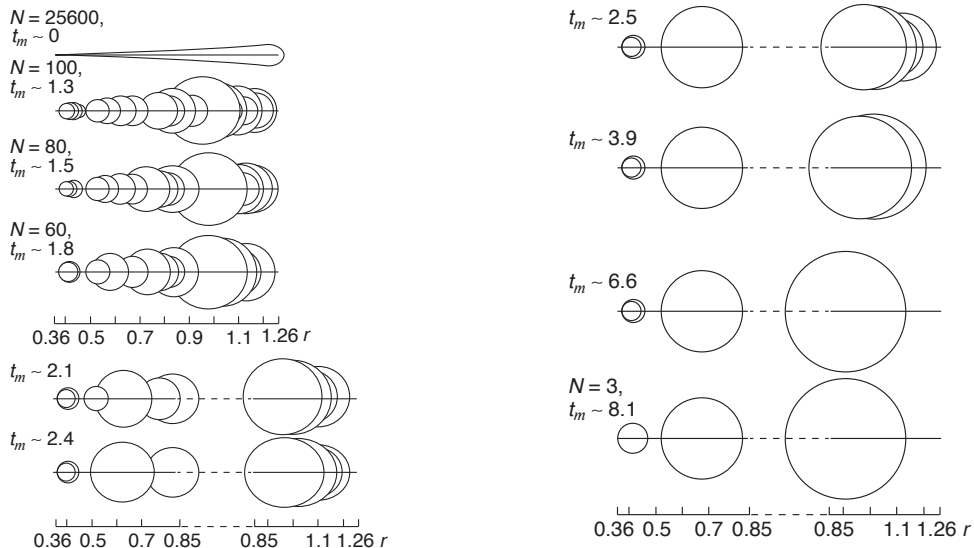
² Пространство вокруг планеты, в котором она способна удерживать спутник (Луну), несмотря на притяжение Солнца, вокруг которого обращается сама.

³ Энеев Т.М., Козлов Н.Н. О новой модели процесса аккумуляции планетной системы. Результаты

Пример расчетов аккумуляции планет в модели Т.М. Энеева и Н.Н. Козлова приведен на рисунках. Для сравнения с этими рисунками: радиус сферы Хилла Земли равен 0.01 а.е. В этом расчете радиус сгущения, породившего Землю, был примерно в 20 раз больше радиуса сферы Хилла Земли, что ставит под сомнение возможность существования таких гигантских сгущений. Чем больше сталкивающиеся сгущения, тем больше угловой момент сгущения, образующегося при столкновении. Даже при столкновениях сгущений с размерами с их сферы Хилла угловой момент образовавшейся Протоземли был бы на два порядка больше современного углового момента Земли вокруг ее центра масс⁴. После публикации этих статей Т.М. Энеев и Н.Н. Козлов увеличили начальное число сгущений в своих расчетах до миллиона. Однако в этих новых расчетах число образовавшихся сгущений, породивших планеты, увеличилось, и конфигурация образовавшихся планет отличалась от реальной. После этих новых неопубликованных расчетов Т.М. Энеев и Н.Н. Козлов поняли бесперспективность продолжения дальнейших расчетов своей модели, сменили тематику исследований и стали уделять большое внимание моделированию структурообразования больших биологических молекул.

численных экспериментов // Письма в Астрон. журнал. 1979. Т. 5, № 9. С. 470–476; Энеев Т.М., Козлов Н.Н. Модель аккумуляционного процесса формирования планетных систем. I. Численные эксперименты // Астрон. вестн. 1981. Т. 15, № 2. С. 80–94; Энеев Т.М., Козлов Н.Н. Модель аккумуляционного процесса формирования планетных систем. II. Вращение планет и связь модели с теорией гравитационной неустойчивости // Астрон. вестн. 1981. Т. 15, № 3. С. 131–141. Eneev T.M., Kozlov N.N. The problems of simulation of planetary systems accumulation processes // Adv. Space Res. 1981. Vol. 1. P. 201–215.

⁴ Ипатов С.И. Миграция небесных тел в Солнечной системе. М.: УРСС, 2000; изд. стереотип. М.: ЛЕНАНД, 2021.



Динамика процесса формирования планет земной группы. Приведены размеры растущих сгущений на расстоянии r (в а.е.) от Солнца в зависимости от времени t_m (в десятках тысяч лет) и числа N образовавшихся сгущений. На нижнем левом и на правом рисунках некоторые сгущения, находившиеся от Солнца на расстоянии около 0.85 а.е., приведены раздельно, чтобы подчеркнуть, что это разные сгущения

В настоящее время считается (см. обзор⁵), что разные сгущения могли образовываться в различное время, расстояния между сгущениями могли быть гораздо больше их размеров, а времена их сжатия могли быть сравнительно небольшими. Модели, в которых сгущения достаточно плотно, как в модели Эневеа–Козлова, заполняют протопланетный диск, не рассматриваются. Ранее причиной образования сгущений считалась гравитационная неустойчивость, теперь – другие механизмы, например, потоковая неустойчивость. Потоковая неустойчивость вызвана тем, что пылевые частицы, движущиеся по орбите быстрее, чем газ, ускоряют его, замедляясь сами, благодаря лобовому сопротивлению. Из-за сохранения углового момента происходит дрейф частиц по радиу-

су внутрь, а газа – наружу. Это приводит к тому, что частицы пыли образуют рыхлые сгущения, которые при сжатии могут порождать планетезимали размерами до сотен километров. Одно время ученые полагали, что сгущения не могут образовываться из-за турбулентности, но потом нашли механизмы образования сгущений именно благодаря турбулентности. В ряде работ считается, что на газовой стадии эволюции протопланетных дисков большую роль играл рост зародышей планет за счет аккумуляции тел типа гальки (pebble accretion).

В современных работах часто считается, что размеры начальных сгущений могли быть гораздо больше, чем обычно полагалось в 1970-е и 1980-е гг. сторонниками твердотельной модели аккумуляции планет. По оценкам некоторых авторов массы сгущений могли достигать массы Марса. Кроме работ Э.М. Галимова с соавторами по образованию системы Земля – Луна при сжатии сгущения

⁵ Маров М.Я., Ипатов С.И. Процессы миграции в Солнечной системе и их роль в эволюции Земли и планет // Успехи физических наук. 2023. Т. 193, № 1. С. 2–32.

размером со сферу Хилла Земли, в которых принимал участие и Т.М. Энеев⁶, после статей Т.М. Энеева и Н.Н. Козлова не рассматривается формирование планет с их современными массами при сжатии сгущений. Однако многие ученые рассматривают достаточно большие массы сгущений, при сжатии которых образовались зародыши планет. Например, С.И. Ипатов считает⁷, что масса сгущения, из которого образовались зародыши Земли и Луны, могла быть порядка 0.01–0.1 от современной массы Земли, а массы сгущений, образовавших зародыши Марса и Меркурия, могли быть в несколько раз меньше современных масс этих планет. Причем сгущение, образовавшее при сжатии зародыши Земли и Луны, приобрело угловой момент, необходимый для образования двойной системы, в результате столкновения двух сгущений. В модели С.И. Ипатова спутниковые системы транснептуновых объектов также образовывались при сжатии сгущений, получивших при столкновениях необходимый угловой момент⁸.

В модели Т.М. Энеева было получено образование в газопылевых дисках кольцевых зон сжатия и разрежения вещества⁹. В настоящее время в диске около звезды TW Нуа обнаружены кольца на расстоянии 22 и 37 а.е. и чуть более слабые кольца радиусами 12, 28,

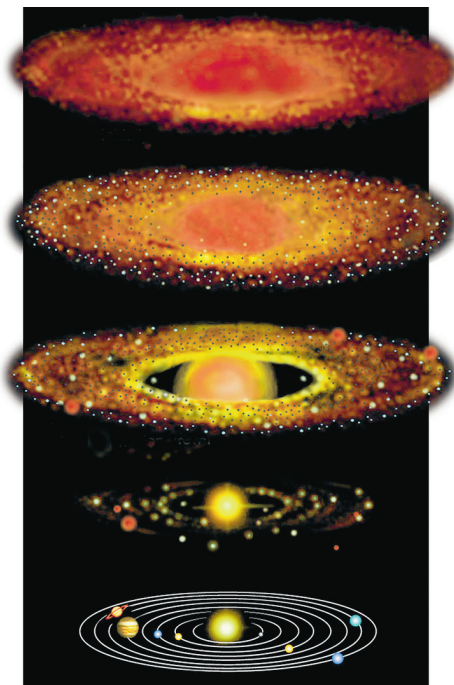


Иллюстрация модели эволюции протопланетного диска с образованием планет Солнечной системы из гигантского межзвездного молекулярного облака (сверху вниз). Источник: <https://www.emaze.com/@ACTWWRCL/Naturals2>

31 и 43 а.е. Кольца также обнаружены около звезд HL Tau и HD163296¹⁰.

ПРЕДСКАЗАНИЯ Т.М. ЭНЕЕВЫМ ТРАНСНЕПТУНОВЫХ ПОЯСОВ

Еще до открытия первых транснептуновых объектов Т.М. Энеев считал, что существует пояс тел за орбитой Нептуна. Он старался организовать в СССР их поиски. В препринте 1979 г. Института прикладной математики и в статье в журнале «Письма в астрономический журнал» в 1980 г. Энеев изучал возможную структуру занептунных

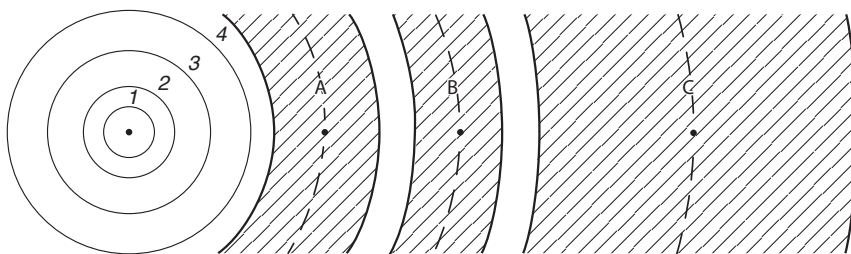
⁶ Галимов Э.М., Кривцов А.М., Забродин А.В., Легкоступов М.С., Энеев Т.М., Сидоров Ю.И. Динамическая модель образования системы Земля – Луна // Геохимия. 2005. № 11. С. 1139–1150.

⁷ Ипатов С.И. Формирование зародышей Земли и Луны из общего разреженного сгущения и их последующий рост // Астрон. вестн. 2018. Т. 52, № 5. С. 411–426.

⁸ Ипатов С.И. Формирование транснептуновых спутниковых систем на стадии сгущений. Астрон. вестн. 2017. Т. 51, № 4. С. 321–343.

⁹ Энеев Т.М. Кольцевое сжатие вещества в капельной модели протопланетного облака // Астрон. вестн. 1993. Т. 27, № 5. С. 3–25.

¹⁰ Акимкин В.В. Протопланетные диски: эпоха великих космогонических открытий // Земля и Вселенная. 2017. № 3. С. 18–29.



Схематическое изображение орбит планет-гигантов и внешних астероидных поясов А, В и С в модели академика Т.М. Энеева. Цифрами обозначены орбиты планет: 1 – Юпитера, 2 – Сатурна, 3 – Урана, 4 – Нептуна

областей Солнечной системы¹¹. Первый объект транснептунового пояса был открыт американскими астрономами Дэвидом Джуиттом (David Jewitt) и Джейн Лу (Jane Luu) в 1992 г., через двенадцать лет после статьи Т.М. Энеева. В настоящее время каталог малых планет включает более 1400 нумерованных, орбиты которых хорошо известны, и более 3000 ненумерованных транснептуновых объектов.

Отметим, что существование популяции транснептуновых объектов было впервые предсказано еще в 1930 г. американскими астрономами Ф. Леонардом (Frederick C. Leonard) и А. Леушнером (Armin O. Leuschner) сразу после открытия Плутона. В статье 1943 г. ирландский астроном К. Эджворт (Kenneth Edgeworth) предсказывал, что за орбитой Нептуна существует диск из ледяных тел (ныне известен как пояс Эджворта – Койпера), и допускал, что в этой области материал сконденсировался не в планеты, а в большое число малых тел. В статье 1951 г. Дж. Койпер (Gerard Kuiper)¹²

предположил, что во время формирования Солнечной системы в этой области мог сформироваться такой диск тел. Однако Койпер не считал, что этот пояс сейчас существует, так как полагал, что Плутон с массой, сравнимой с массой Земли, выбросил все тела этого пояса. В отличие от остальных предсказателей транснептунового пояса, Койпер был членом Национальной академии наук США, и диск часто называют поясом Койпера только в его честь, хотя несколько других ученых имеют не меньшие заслуги в предсказании этого пояса.

Т.М. Энеев полагал, что из-за кольцевого сжатия вещества за орбитой Нептуна образовались четыре пояса (А, В, С и D). Массы поясов А, В, С и D он оценивал как 20–40, 31, 26 и 3 масс Земли соответственно. Средние расстояния от Солнца до поясов А, В и С Тимур Магометович полагал равными 52, 85 и 148 а.е. соответственно. Он указывал только средние расстояния, без данных о границах колец. Согласно современным данным, транснептуновые объекты находятся на различных расстояниях от Солнца за орбитой Нептуна и распределяются по разнообразным большим полуосям и эксцентриситетам их орбит. Выделить среди них какие-то определенные пояса проблематично. Среди объектов, движущихся за орбитой Нептуна, выделяют классические объекты пояса Койпера, резонансные

¹¹ Энеев Т.М. Новая аккумуляционная модель формирования планет и структура внешних областей солнечной системы // Препринт Ин-та. прикл. матем. АН СССР. 1979. № 166; Энеев Т.М. О возможной структуре внешних (занептуновых) областей Солнечной системы // Письма в Астрон. журн. 1980. Т. 6, № 5. С. 295–300.

¹² Герасютин С.А., Рускол Е.Л. Джерард Койпер (к 110-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2015. № 6. С. 50–58.

и экстремальные транснептуновые объекты, а также рассеянный диск. Иногда к ним относят и облако Оорта, являющееся основным источником долгопериодических комет.

Классические транснептуновые объекты движутся на расстоянии 30–50 а.е. от Солнца. Резонансные объекты включают в себя нептуновские троянцы (резонанс 1:1), плутиноиды (резонанс 2:3), а также тела, находящиеся в других резонансах с Нептуном (например, в резонансах 3:5, 4:7, 1:2, 2:5 и 1:3). Большие полуоси орбит резонансных транснептуновых объектов находятся в диапазоне от 30 до 130 а.е. Эксцентриситеты орбит объектов рассеянного диска превышают 0.8. Большие полуоси орбит экстремальных транснептуновых объектов не меньше 150 а.е. Апоцентр орбиты объекта 2014 FE72 может находиться в 3000 а.е. от Солнца. Расстояние от Солнца до нижней и верхней границ облака Оорта считается порядка 1000 и 200 000 а.е. соответственно. Внутреннюю (уплощенную) часть облака Оорта (от 1000–5000 до 20 000 а.е.) называют облаком Хиллса. Некоторые ученые облаком Оорта называют только его внешнюю сферическую часть (от 20 000 до 50 000–200 000 а.е.).

Тимур Магомедович считал Плутон одним из тел этих поясов, мигрировавшим ближе к Солнцу из-за гравитационных взаимодействий между транснептуновыми объектами. Расчет примера такой миграции был сделан в 1979 г. С.И. Ипатовым по его просьбе. В расчете рассматривалась эволюция орбит трех тел с массами порядка массы Плутона и с близкими начальными почти круговыми гелиоцентрическими орбитами на расстоянии от Солнца, примерно равном 52 а.е. В ходе эволюции эксцентриситеты орбит тел возросли от 0.005 до значений порядка 0.2–0.3. Большая полуось орбиты одного из тел уменьши-

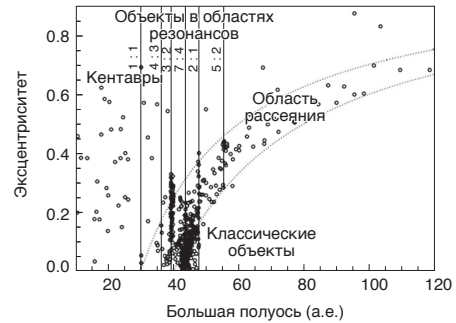
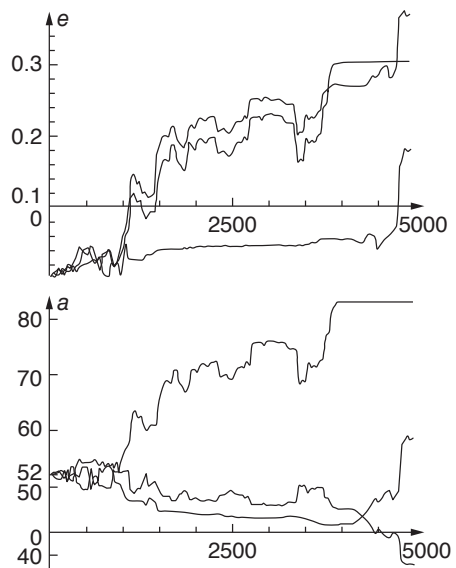


График современных данных о распределении кентавров и транснептуновых объектов по большому полуоси (в а.е.) и эксцентриситетам их орбит



Графики изменений со временем эксцентриситетов e (верхний) и больших полуосей a (в а.е.) (нижний) орбит трех гравитационно-взаимодействующих тел с массами, равными массе Плутона. По оси абсцисс отложено число тесных сближений тел (до радиусов сфер действия тел). Эволюционный процесс, изображенный на рисунке, охватывает период порядка миллиарда лет

лась до значений менее 40 а.е. (до большой полуоси орбиты Плутона). Миграция транснептуновых объектов внутрь Солнечной системы рассматривалась позже и другими авторами.

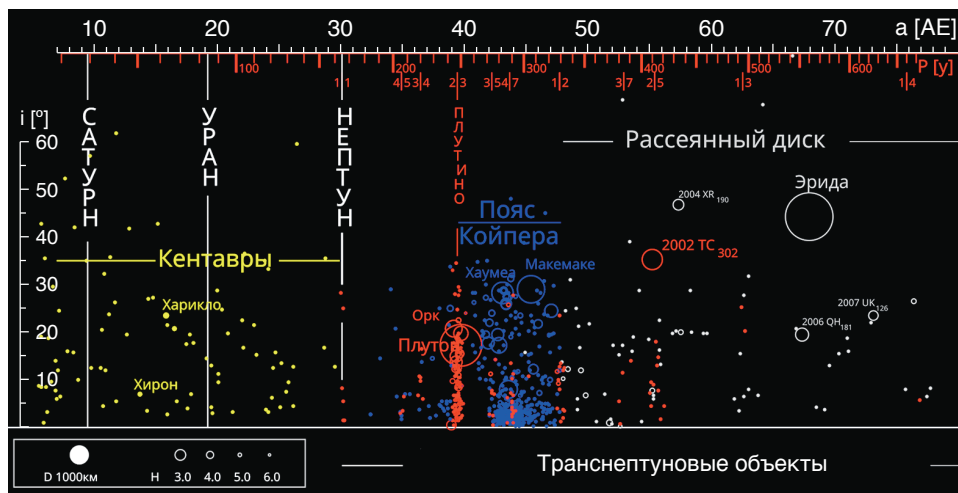


Диаграмма распределения транснептуновых объектов по большим полуосьям и наклонениям орбит. В левой части для сравнения помещены кентавры. Резонансные объекты отмечены красным цветом. На левой шкале указаны наклонения орбит, на верхней – расстояние от Солнца в а. е., внизу – сравнительные размеры объектов. Источник: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:TheTransneptunians_73AU-ru.svg

Согласно современным данным ряда авторов о транснептуновом поясе, суммарная масса транснептуновых объектов не превышает 10% от массы Земли (в 1000 раз меньше, чем у Т.М. Энеева). Однако некоторые авторы допускают существование планеты за орбитой Нептуна с массой в несколько масс Земли. Впервые предположение о том, что в Солнечной системе может находиться еще одна большая планета, которую прозвали «девятой», было выдвинуто в 2016 г.¹³ Считалось, что эта планета с массой не менее 10 масс Земли движется по эксцентричной орбите с большой полуосью орбиты, равной нескольким сотням астрономических единиц. Я мало верю в возможность формирования массивной планеты 9 за орбитой Нептуна.

¹³ Batygin K. Brown M.E. Evidence for a Distant Giant Planet in the Solar System // The Astronomical Journal. 2016. Vol. 151. P. 22; Эйсмонт Н.А. Существует ли Девятая планета? // Земля и Вселенная. 2022. № 2. С. 20–29.

Мои отношения с Т.М. Энеевым были необычными, так как мы склонялись к разным моделям образования Солнечной системы (я придерживался модели аккумуляции планет из твердых планетезималей, а не из разреженных сгущений, как в модели моего оппонента). Тимур Магомедович говорил: «Кто-то один из нас двоих должен быть не прав. Не может быть, чтобы не прав был я. Значит неправ ты». Однако, как научный руководитель и непосредственный начальник, он не препятствовал моим исследованиям. Сейчас роль сгущений в аккумуляции планет считается большей, чем полагалось в 1970–1980-е гг. Однако, никто не считает, что сгущения объединялись при взаимных столкновениях до тех пор, пока они в результате вырастали до масс планет, которых они породили.

Работа над этой статьей была выполнена по бюджетной теме (госзадаанию) Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН.

НЕЗАМЕТНАЯ РЫСЬ

СОЛОМОНОВ Юрий Владимирович,

Московское общество любителей астрономии

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович

DOI: 10.7868/50044394824050062

Околополярное созвездие Рыси (лат. Lynx) в северном полушарии неба относится к одним из наиболее крупных. Оно не имеет отчетливую фигуру из звезд, какими обладают Кассиопея или Дракон, не лежит в плоскости яркой полосы Млечного Пути, как Ящерица и Цепей, нет в ней и ярких объектов глубокого космоса (deep-sky объекты), как у Большой Медведицы и Гончих Псов. Даже известных метеорных потоков у нее нет, какие есть у Малой Медведицы с Жирафом¹. Так что чаще всего любители обходят своим вниманием это созвездие стороной, да и не многие могут найти его на небе. Между тем, оно имеет отличительную особенность – в ней много визуально-кратных систем.

ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ НА КАРТАХ

Ни эллины, ни арабы с персами, никак не отождествляли эту область неба ни с какими мифическими героями. Древнегреческий астроном Клавдий Птолемей (ок. 100 – ок. 170)², описавший шесть

¹ Щеглов П.В. Отраженные в небе мифы земли. М.: Наука, 1986. Зигель Ф.Ю. Сокровища звездного неба: путеводитель по созвездиям и Луне. 5-е изд. М.: Наука, 1987. С. 72–73.

² Еремеева А.И. Клавдий Птолемей (к 1925-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2012. № 4. С. 32–45.



Голландский астроном Петрус Планций и фрагмент его небесного атласа 1612 г. с созвездием реки Иордан (находится под Большой Медведицей)



Фрагмент атласа «*Coelum Stellatum Christianum*» Юлиуса Шиллера 1627 г. с изображением созвездия Барка Святого Петра. Под волнами, по которым плывет лодка, сейчас располагается созвездие Рыси

звезд, входящие в нынешнее созвездие Рыси, назвал его «несформировавшимся». Лишь в начале XVII в. в Европе вошло в моду создание звездных карт и созвездий. Голландский богослов, астроном и картограф Петрус Планций (Плациус, 1552–1622) издал в 1612 г. свой последний небесный атлас, добавив 8 новых созвездий на основании карт Тихо Браге и других астрономов. В этом месте небосвода северного полушария, где сейчас находится Рысь, он нарисовал созвездие библейской реки Иордан (*Jordanis fluvius*), омывающей сад Эдема (или райский), видимо, исходя из того, что в противоположной области есть древнегреческая река Эридан. Тянулось созвездие реки Иордан от современных Гончих Псов, через Малого Льва и заканчивалось в районе Жирафа. У средневековых китайцев эта же область была названа Желтым Драконом и занимала такое же пространство на современной карте звездного неба: от Льва до Жирафа, включая и Малого Льва с Гончими Псами.

В 1624 г. немецкий адъюнкт-профессор Страсбургского университета,

доктор медицины и астроном Якоб Барч (Барчиус, 1600–1633) изобразил то же созвездие реки Иордан в своей книге «*Usus Astronomicus Planisphaerii Stellati*» (астрономическое использование звездной планисферы). Через три года немецкий юрист, астроном и картограф Юлиус Шиллер (1580–1627) при поддержке Иоганна Байера (1572–1625)³, основываясь на его атласе «*Уранометрия*», предпринял попытку полной реформы астрономических переименований. Шиллер опубликовав свой атлас «*Coelum Stellatum Christianum*» (христианские звездные небеса), в котором зодиакальные созвездия были названы именами 12 апостолов, созвездия северного полушария неба получили имена святых, героев и сюжетов Нового Завета, а южного – основывались, в основном, на образах Ветхого Завета. Он переименовал Эридан в Иордан, на месте Иордана Плациуса изобразил созвездие Барка Святого Петра, поместив ее вместо Большой Медведицы, а рекой, по которой плывет лодка, стала область, в которой находится ныне Рысь. Наверное, к счастью, все предложения Шиллера по реформированию неба были отвергнуты.

В 1687 г. новое название созвездия – Рысь дал польский астроном Ян Гевелий (1611–1687)⁴, и оно прижилось. Считается, что такое имя он дал из-за слабости блеска его звезд и предложил будущим астрономам увидеть его, заявив, что только обладатели рысьих глаз, те, у кого хорошее зрение способны разглядеть в этой области очертания созвездия. Легенда это или нет, сейчас уже не-

³ Пчёллов Е.В. Иоганн Байер // Земля и Вселенная. 1998. № 1. С. 44–48; Кузьмин А.В. Загадка «Уранометрии» Иоганна Байера // Земля и Вселенная. 2007. № 4. С. 77–83.

⁴ Лушин А. Консул гданьского магистрата // Земля и Вселенная. 1982. № 5. С. 53–56.

известно, но в одном из ранних каталогов Гевелия, есть обозначение этой области, как Тигр.

Британский астроном Джеймс Флемстид (1646–1717) добавил Рысь и в свой атлас, правда, только со звездами в его каталоге вышло много ошибок – четких границ созвездия не было. Если Гевелий включил в созвездие 19 звезд, то Флемстид уже 55. Правда, отмеченная им как звезда 44 Рыси находилась чуть ли не в центре Большой Медведицы и наоборот, расположенные в хвосте Рыси две звезды, были обозначены как 10 и 19 Большой Медведицы, а звезда 50 Рыси попала в центр созвездия Жирафа. После того, как бельгийский астроном Эжен Жозеф Дельпорт (1882–1955) четко определил границы созвездий, принятые в 1930 г. Международным астрономическим союзом (МАС), Рысь потеряла довольно значительную часть своих звезд, например, звезда 5 «ушла» в границы Малого Льва, 10 и 19 были «переведены» в Большую Медведицу, а с 44 по 54 в Жирафа. Сама же Рысь в результате этих реформ пополнилась звездой

Портрет Яна Гевелия, автора созвездия Рыси, работы художника Даниэля Шульца. XIX в.

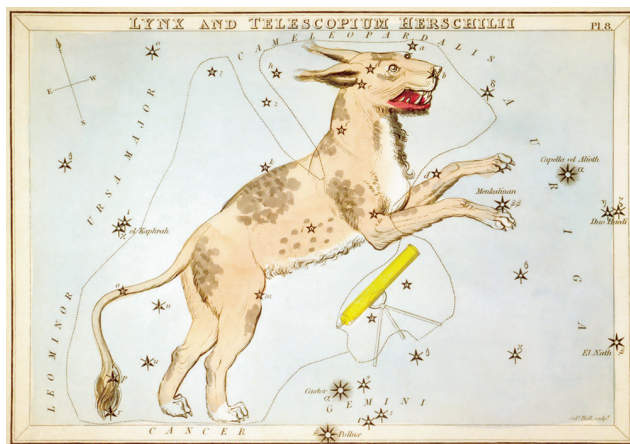


Созвездие Рысь на атласе северного полушария неба «Уранография» Яна Гевелия 1690 г. Вверху слева изображено созвездие Жирафа, справа – Большой Медведицы, внизу – Возничий, Близнецы, Рак и Малый Лев

ψ – это 10 Возничего (ныне 16 Рыси) и 10 Большой Медведицы (ее переименовывать не стали). А вот обозначение α – самой яркой звезде Рыси дал не Иоганн Байер, он вообще не трогал эту область неба, а английский астроном Фрэнсис Бейли (1774–1844) в своем каталоге 1827 г.

В 1789 г. к Рыси «присоседили» созвездие Телескоп Гершеля, автором его названия стал австрийский астроном Максимилиан Хелл (1720–1792), предложивший его в знак признательности заслуги британского астронома Уильяма Гершеля (1738–1822)⁵ за открытие планеты Уран. Идею поддержали в своих атласах и книгах с упоминанием созвездия астрономы Иоганн Боде в 1801 г., Поль Брос в 1892 г. и Эрнст Лебон в 1899 г. Остальной астрономический мир эту идею отверг, тогда как американский юрист и астроном-любитель Уильям Тайлер Олкотт (1873–1936) в книге 1911 г. «Star Lore of All Ages»

⁵ Еремеева А.И. Вильям Гершель (к 270-летию со дня рождения) // Земля и Вселенная. 2008. № 6. С. 40–50.



Изображение созвездий Рыси и Телескопа Гершеля на карточке № 8 из набора «Зеркало Урании», выполненное британским гравёром Сидни Холлом на основании рисунков неизвестного автора

(звездные знания всех веков) обозначил его как астеризм⁶. В 1922 г. на Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза, судьба Телескопа Гершеля была решена почти единогласно – его убрали с карты неба.

ЗВЕЗДЫ, ВИДИМЫЕ НЕ ВСЕМИ

Несмотря на то, что созвездие Рыси на большей территории России является незаходящим, лучше всего оно видно зимними ночами, кульминируя в конце января около полуночи. В летнее время его слабые звезды «тонут» в ярком сегменте зари. Оно занимает площадь в 545.4 квадратных градуса, что составляет 1.322% площади неба. В нем нет ярких звезд, а их всего 109⁷, видимых невооруженным глазом – 92.

Самая яркая звезда созвездия – α обладает блеском 3.14^m и представляет собой оранжевого гиганта спектрального класса K7III, который по сво-

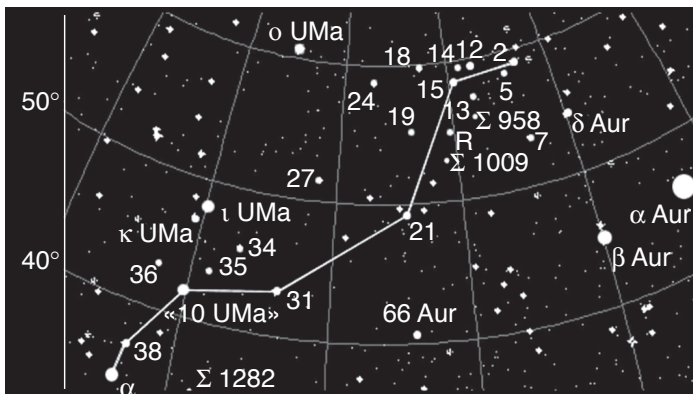
им размерам превосходит Солнце в 55 раз, по массе – в два раза. Она находится на расстоянии 200 св. лет от Земли. В созвездии есть только одна звезда (четвер-

тая по яркости) с собственным именем Альциаукат (от араб. шип), имеющая обозначение 31 Рыси и тоже оранжевый гигант (в 5 раз больше Солнца), расположенный на расстоянии около 390 св. лет от Земли. Альциаукат относится к классу переменных звезд, ее блеск меняется с 4.21^m до 4.27^m каждые 3.5 суток, поэтому носит еще и обозначение BN Рыси. Но, вероятно, в средние века она была или ярче, или, наоборот, имела более сильную амплитуду переменности, ведь не зря же арабские звездочеты обратили на нее внимание? Хотя, может быть, арабы видели в ней звезду на конце лапы Большой Медведицы и название переводится не как шип, а как протянутая лапа?

Вторая по яркости звезда с обозначением 38 Рыси характеризуется блеском 3.8^m – это двойная звезда: яркий компонент бело-голубого цвета с блеском 3.9^m, более слабый – с блеском 6.1^m удален на расстояние 2.6". Звезда тоже является бело-голубой, хотя некоторые романтические астрономы отмечают ее цвет как синий, и даже сиреневый! Только в конце XX в. было установлено, что 38 Рыси состоит из двух слабых звезд, расстояние между которыми менее 0.5".

⁶ Астеризм (от греч. ἀστήρ – звезда) – характерная группа звезд, имеющая собственное название в астрономии. Большинство астеризмов состоит из ярких звёзд, принадлежащих одному или нескольким соседним созвездиям, например Ковш в Большой Медведице.

⁷ https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_звёзд_созвездия_Рыси



Звезда 15 Рыси (звездная величина 4.35^m) также является интересной двойной звезды, состоящей из двух желтых звезд 4.7^m и 5.8^m , разделенных расстоянием $0.9''$. Еще интереснее 12 Рыси, которая состоит из пары звезд с блеском 5.4^m и 6.2^m белого цвета, разделенных расстоянием в $1.7''$, от которых на расстоянии $9''$ видна желтоватая (кто-то определяет цвет как бледно-оранжевый) звездочка-спутник с блеском 10^m .

Вообще Рысь довольно богата на визуально-кратные системы – их 33, отмеченные в середине XIX в. в каталоге российских астрономов В.Я. Струве (Фридрих Георг Вильгельм, 1793–1864) и О.В. Струве (Отто Вильгельм фон Струве, 1819–1905).

Особый интерес представляет Мирида⁸ R Рыси (HD 51610) – первая переменная звезда-гигант класса K5-M диаметром в 1100 раз больше Солнца (по массе – в 10 раз), находящаяся примерно в 3 тыс. св. лет от нас, открытая в этом созвездии, представляет из себя типичную долгопериодическую переменную звезду S-типа (их еще называют «циркониевыми звездами» из-за присутствия оксидов

циркония, иттрия, ванадия и титана), меняющую блеск с 7.56^m до 14.5^m . Полный период у звезды равен земному году – 365 дней. В наше время в пике блеска она бывает около 10 ноября, а минимум обычно проходит в 10-х числах апреля. Звезда видна практически всю ночь, достигая максимальной высоты для удобства наблюдений в утренние часы.

Еще одна переменная Y Рыси, относится к классу полуправильных переменных звезд, меняющая блеск с 6.8^m до 8.9^m . Ее основной период равен 133 дням, на который накладывается еще и вторичный, с падением блеска на 0.2^m , который длится 1300 дней!

Как уже отмечалось, только одна звезда в Рыси имела собственное имя. Но в наше время астрономы решили исправить эту «несправедливость» и дать имена звездам, у которых нашли экзопланеты. Все эти звезды, разумеется, неярки и видны только в телескоп. Начнем со звезды XO-5 (12^m), которую с подачи чехов называли Абсолют в честь научно-фантастического романа их земляка Карела Чапека «Фабрика Абсолюта» (1922). Присвоено оно, впрочем, как и другие в 2019 г. к 100-летию образования МАС. Экзопланету открыли в 2008 г. с помощью бинокулярного инструмента XO-Телескоп (с 200-мм объективами), который стоит

⁸ Мириды – класс пульсирующих переменных звезд, названный по имени звезды Мира (о Кита) с изменениями блеска от 2.5^m до 11^m в видимом диапазоне. Это красные гиганты, находящиеся на конечных этапах эволюции, которые в течение нескольких миллионов лет сбрасывают свою внешнюю оболочку и превращаются в белые карлики.



ХО-Телескоп, расположенный в национальном парке Халеакала на острове Мауи в штате Гавайи (США), на котором была открыта одна из экзопланет у звезды в созвездии Рыси. Состоит из двух объективов Сапон с диаметром 200 мм и светосилой $f = 1.8$

на Гавайях. Всего в его скоромном активе находится 7 экзопланет, три из которых открыты у звезд созвездия Рыси.

Звезда WASP-13 со звездной величиной 10.4^m получила название Gloas, что в переводе с гальско-британского означает «сиять», открытая около нее планета Cruinlagh, что с того же ломаного языка означает «на орбите». Столь богатую фантазию к наименованию планет выбрали школьники-полиглоты из Великобритании. Более просто подошли к наименованию хорватские астрономы, которые назвали звезду HD 75898 (8^m) Стрибог в честь славянского божества ветра, а планету, которую открыли американцы в 2007 г., назвали Велес в честь другого славянского божества плодородия, сельского хозяйства, животноводства, богатства,

знаний и мудрости. Впрочем, сейчас подозревается, что планеты там может и не быть, а доплеровские сдвиги, которые были интерпретированы как присутствие экзопланеты, могли быть вызваны магнитной активностью самой звезды.

Самой близкой звездой к нам в созвездии Рыси является красный карлик GJ 1105 (G 111–47) с блеском 13.7^m, удаленный на расстояние в 28.86 св. лет от Солнца.

DEEP-SKY ОБЪЕКТЫ

Наиболее интересный объект далекого космоса (Deep-Sky) Рыси – это шаровое звездное скопление NGC 2419, одно из древнейших во Вселенной, открытое Уильямом Гершелем 31 декабря 1788 г. Его блеск равен 9^m, при угловом размере 6'. Скопление носит название «Межгалактический странник», которое придумал американский астроном Харлоу Шепли в 1944 г. в связи с тем, что сначала предполагалось, что оно находится за пределами Галактики. Но потом выяснилось, что все-таки входит в Млечный Путь, располагаясь на самой окраине – на расстоянии около 300 тыс. св. лет от Солнца и примерно на таком же от центра Галактики. Недавние наблюдения с помощью Космического телескопа «Хаббл» показали, что NGC 2419 состоит из двух групп звезд, имеющие разный химический состав. В центре скопления доминируют красные гиганты. Их оболочки отличаются повышенным содержанием гелия, они содержат большее количество азота, чем звезды из другой группы. Скорее всего, NGC 2419 представляет собой остаток захваченной карликовой галактики – спутника Млечного Пути, совершающего оборот вокруг нашей галактики за 3 млрд лет. Хотя, некоторые ученые

эту версию и не разделяют, описывая другие механизмы образования этого объекта.

Галактика NGC 2537 в Рыси несмотря на блеск 12^m была открыта Уильямом Гершелем раньше, чем шаровое скопление: 8 февраля 1788 г. и имеет не формальное имя «Медвежья Лапа». У нее единственный спиральный рукав, причем это крупнейшая подобная галактика с одним рукавом, в ней идет наиболее активное звездообразование. Рядом с ней находится спиральная галактика IC 2233 с блеском 12.63^m , открытая британцем Иссаком Робертсоном в 1894 г. Это сравнительно тихая галактика с низкой скоростью звездообразования – менее одной массы солнца каждые 20 лет. Когда-то считалось, что NGC 2537 и IC 2233 являются взаимодействующими, но потом астрономы пересчитали расстояние и выяснили, что взаимодействовать галактики не могут. NGC 2537 расположена в 26 млн св. лет от нас, IC 2233 – в 40. А вот настоящей парой взаимодействующих галактик в Рыси являются NGC 2798 и NGC 2799 (12^m и 13.5^m).

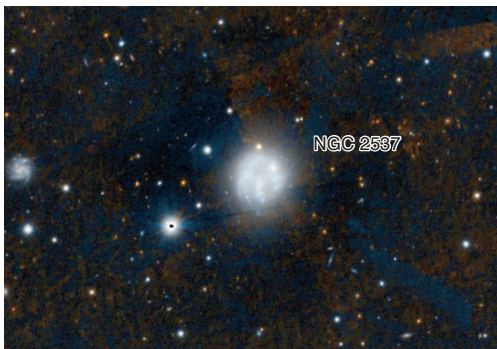
Самой яркой галактикой Рыси является NGC 2683 звездной величины 10.6^m . Это спиральная галактика,



Шаровое звездное скопление NGC 2419
«Межгалактический странник» – предполагаемый спутник нашей галактики. Снимок американского астронома Адама Блока

открытая Уильямом Гершелем в феврале 1788 г. При наблюдении с Земли она видна с ребра и находится на расстоянии около 25 млн св. лет от нас, удаляясь со скоростью 410 км/с и от центра галактики со скоростью 375 км/с. Мемориальный планетарий астронавтов и обсерватория дали ей прозвище «Галактика НЛО» за ее форму, похожую на летающую тарелку. Она довольно интересна для профессиональных астрономов,

Галактики NGC 2537 и IC 2233. Снимки из архива Слоуновского цифрового небесного обзора и Космического телескопа Хаббл. NASA





Спиральная галактика NGC 2683, или «Галактика НЛО», видимая почти с ребра, что придает ей форму классического научно-фантастического космического корабля. Снимок Космического телескопа «Хаббл». 2012 г. NASA

которые обнаружили в ней около 300 шаровых звездных скоплений, а в ее окрестностях регулярно открывают карликовые галактики-спутники.

Другая спиральная галактика NGC 2770 (12^m), обнаруженная Уильямом Гершелем в 1785 г., находящейся от нас примерно в 88 млн св. лет, по своим параметрам похожа на Млечный Путь. Она интересна тем, что в ней за последние 16 лет обнаружено 4 сверхновые SN 1999eh, SN 2007uy, SN 2008D, SN 2015bh, и все они не были яркими. и не доступными для наблюдения большинству любительских телескопов. Хотя SN 2007uy и была открыта 31 декабря 2007 г. японским астрономом-любителем Едзи Хиро-се, ее пиковая звездная величина составила 19.1^m . Последняя вспыхнувшая сверхновая получила обозначение SN 2015bh, астрономы не определились до сих пор: то ли это типичная сверхновая, то ли произошла какая-то гипервспышка у переменной голубой звезды, которая при вспышке выбросила вещество массой 0.5 масс Солн-

ца и в будущем превратится в звезду Вольфа – Райе. Недавно специалисты все-таки установили, что SN 2015bh действительно является сверхновой типа II, ставшей результатом смерти звезды с массой в 8–50 солнечных. Наиболее вероятное объяснение высокой частоты сверхновых – случайное совпадение, а не какие-то особенные свойства галактик. Тем не менее вероятность наблюдения трех сверхновых типа Ib в течение 10 лет в 10 тыс. галактик составляет лишь 0.6–1.5%⁹.

Три галактики с блеском 12^m : NGC 2500, 2537 и 2552, входят в гравитационно связанное скопление

⁹ Существуют два основных типа сверхновых: I – образуются в результате теплового выброса массы и остаются без водорода (Ib – с неинионизированным гелием) и II – при взрыве (коллапсе) ядра, превращаясь в нейтронную звезду или черную дыру, либо полностью разрушается с образованием диффузной туманности. Каждый из этих двух типов подразделяется в зависимости от наличия линий других элементов или формы кривой блеска (график зависимости видимой звездной величины сверхновой от времени).

(группу) галактик с NGC 2841, – яркая, подобно Андромеде, находится на расстоянии 46 млн св. лет от нас, которая, как и ряд других членов группы, находится в созвездии Большой Медведицы, – а вот эта троица попала в Рысь при пересмотре границ. В 1912 и 1999 гг. в NGC 2841 были зарегистрированы сверхновые, получившие обозначения соответственно SN 1912A (тип неизвестен, пиковая видимая звездная величина составила 13^m) и SN1999by (тип Ia-p, 15^m). NGC 2500 – достаточно крупная спиральная галактика с зарешеченной поверхностью и перемычкой (баром), открытая, как и NGC 2552, Уильямом Гершелем в 1788 г., расположена примерно в 33 млн св. лет от нас.

Другие объекты глубокого космоса в Рыси значительно слабее 12^m , так что описывать все их, смысла нет. Для начинающего любителя-астрономии эти объекты довольно сложны для наблюдений, а опытные с хорошим оборудованием легко смогут найти их самостоятельно.



Спиральная галактика NGC 2770, похожая на Млечный Путь. Снимок Космического телескопа Хаббл. 2020 г. NASA



Крупная спиральная галактика NGC 2500 с перемычкой. Снимок Космического телескопа Хаббл. 2017 г. NASA

СИНИЕ ВСПЫШКИ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ

ОЩЕПКОВ Михаил Юрьевич,

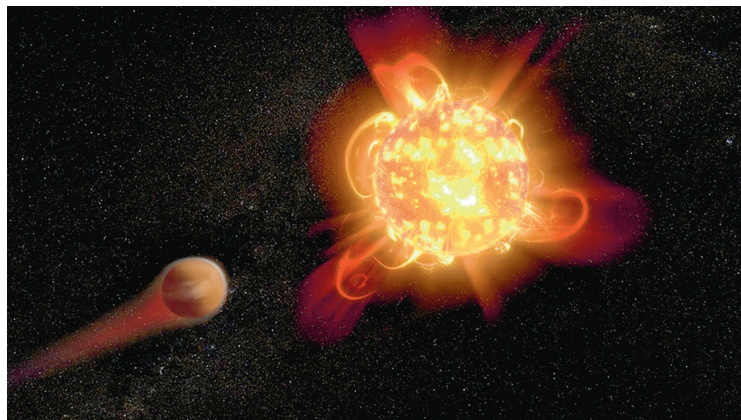
кандидат технических наук, член AAVSO, наблюдатель IOTA

DOI: 10.7868/S0044394824050074

Вспышечная активность самых распространенных и долгоживущих звезд – красных карликов – изучается уже много десятилетий. Сегодня это явление вызывает особенный интерес, поскольку в зонах возможной обитаемости у таких звезд обнаружены экзопланеты земного типа, что сулит надежду найти там жизнь. Однако вследствие близости планеты к небольшой тусклой звезде ее вспышки представляют грозную опасность не только для гипотетических внеземных существ, но даже для планетной атмосферы, которая может быстро улетучиться под ударами раскаленной плазмы. Какова же природа звездных вспышек, как их наблюдают? Могут ли любители астрономии в эпоху автоматических обзоров неба и космических телескопов внести вклад в изучение красных карликов?

ПРИРОДА ВСПЫШЕК

К середине прошлого века астрономам удалось провести несколько удачных наблюдений кратковременно вспыхнувших красных карликов и получить необычные непрерывные спектры с сильными эмиссионными линиями водорода и ионизированного кальция. В 1954 г. В.А. Амбарцумян предположил, что непрерывное излучение вызвано распадом сверхплотного дозвездного вещества, однако, и в данном случае, как и во всех остальных, экзотическая «бюраканская концепция» не нашла подтверждений. В 1958 г. вспыхивающие красные карлики были выделены в отдельный тип эруптивных переменных звезд и стали именоваться звездами типа UV Кита.



Активный молодой красный карлик сдувает атмосферу планеты (рисунок NASA)

К началу 1960-х годов были известны всего четыре таких звезды (UV Cet, EV Lac, AD Leo и YZ CMi), систематическое изучение которых началось в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО). Были получены надежные фотометрические кривые блеска, показавшие стремительный его подъем, за которым следует вначале быстрое, а затем более плавное угасание. По серии вспышек EV Lac П.Ф. Чугайнов оценил энергию их оптического излучения величинами от 10^{32} до 10^{34} эрг. В 1965 г. в Крыму и в Техасе была начата скоростная спектрография этих быстропротекающих явлений. Наиболее впечатляющую вспышку амплитудой $\Delta m_B = 1.5$ тогда показала AD Leo: блеск звезды менее чем за минуту возрос пятикратно, через несколько минут после максимума быстрый спад блеска замедлился, а через 12 минут после пика ненадолго приподнялся невысокий симметричный вторичный максимум (Р.Е. Гершберг, 2016).

К 1971 г. по накопленным данным Гершберг и Пикельнер установили, что природа активности красных карликов идентична солнечной. Читателям «Земли и Вселенной» хорошо известна основная физическая причина солнечных вспышек: взрывное выделение

энергии магнитных полей при смыкании противоположно направленных силовых линий, которое случается при особой конфигурации магнитных пятен (ЗиВ, 2013, № 3). Хотя магнитная энергия запасена в гигантских объемах вещества, непосредственное ее выделение происходит в чрезвычайно компактных областях размером от десятков сантиметров до нескольких метров (ЗиВ, 2021, № 4)! Этим солнечная вспышка сродни молнии – локальному разряду атмосферного электричества, запасенного в огромных противоположно заряженных объемах облаков.

Разумеется, магнитогидродинамические процессы при магнитном пересоединении иные, чем при электрическом пробое: в разреженной плазме короны возникает аккумулирующий энергию токовый слой, при внезапном распаде которого газ разогревается до 10^6 – 10^8 К, ускоряется вплоть до релятивистских скоростей и образует корональный выброс. Таким образом, энергия магнитного поля, выработанного по механизму динамо при дифференциальном вращении вещества в недрах звезды и вынесенного вместе с ним конвекцией на поверхность, взрывным образом преобразуется в тепловую и кинетическую энергию плазмы, а также в электромагнитное

Магнитное пересоединение в упрощенном представлении. Стрелками показаны потоки магнитного поля, пунктиром – нейтральная линия поля, разделяющая потоки противоположной полярности. Вспышка возникает в области пересечения магнитных потоков. Источник: NASA (ЗиВ, 2013, № 5)



излучение широкого спектра с максимумом в рентгеновской и ультрафиолетовой области. Хотя ядерные реакции при вспышке не происходят, за секунды высвобождается энергия взрыва миллионов водородных бомб.

СУПЕРВСПЫШКИ

Несмотря на одинаковую физическую природу, между вспышками на Солнце и на красных карликах имеется гигантское различие в масштабах явления. Масса красных карликов обычно не превышает трети солнечной, радиусы лежат в диапазоне от 0.1 до 0.6 радиуса Солнца, температура их поверхности примерно вдвое ниже, чем у нашего светила, от – 2500 до 3800 К, а света излучают они в сотни и тысячи раз меньше. Казалось бы, и вспышивать эти хилые звездочки должны пропорционально слабей, однако, дело обстоит в точности наоборот: энергия мощных вспышек красных карликов в сотни и тысячи раз превышает самые сильные солнечные вспышки! Причина заключается в конвективной структуре маломассивных звезд. При быстром вращении конвекция способствует интенсивному формированию и выносу к поверхности магнитных трубок: пятнами бывает покрыта половина поверхности звезды, тогда как на Солнце общая площадь пятен не превышает долей процента.

В 1969 г. Гершберг и Чугайнов изучили около сотни фотоэлектрических кривых блеска семи звезд типа UV Кита и установили, что энергия излучения за время вспышки в синей области составляет $3 \cdot 10^{31 \pm 2}$ эрг, а типичная скорость нарастания мощности от – 10^{27} до $3 \cdot 10^{28}$ эрг/с². Для половины вспышек время возгорания составило от 10 до 30 с, для 90% вспышек от – 3 до 100 с. Время за-

тухания от 10 до 100 раз превышает время возгорания, однако, вблизи максимума скорость падения блеска лишь в 2–3 раза меньше скорости возгорания. Вторичные максимумы блеска происходят через 6–10 мин после главного максимума. Суммарное излучение у изученных вспышек составило от 0.1 до 1% излучения звезды в спокойном состоянии (Р.Е. Гершберг, 2016). Как видим, у красных карликов вспышки даже умеренной мощности увеличивают энергию излучения звезды значительно заметней, чем самые сильные солнечные вспышки изменяют видимое излучение Солнца, которое при вспышках возрастает настолько ничтожно, что они долгое время оставались вне внимания астрономов.

Однако умеренными вспышками, обычно происходящими раз в несколько суток, фейерверки красных карликов не ограничиваются. Изредка, примерно раз в десятилетие, конфигурация магнитных полей звезды складывается таким образом, что их энергия разряжается в мощнейшей супервспышке с энергией порядка 10^{34} – 10^{35} эрг. При супервспышке блеск звезды стремительно возрастает на несколько звездных величин, т. е. в десятки раз.

Такую супервспышку удалось обнаружить Ховарду Бонду (Howard E. Bond, 1976). На фотопластинке проявилась звезда блеском 8.5^m, имевшая непрерывный спектр с яркими линиями Бальмера и возможными линиями ионизированного кальция. В Паломарском атласе на этом месте отыскилась слабая звездочка яркостью около 15^m. Эта звезда, блеск которой вспышка увеличила на 6.5^m, позже была причислена к типу UV и получила обозначение AF Psc, а также неофициальное (но вполне заслуженное) название «вспыхивающая звезда Бонда».

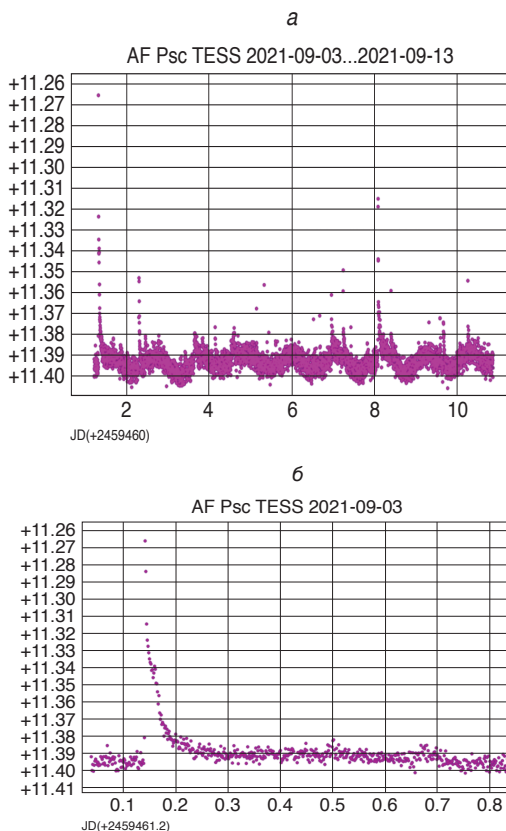
Через год после открытия звезду Бонда в спокойном состоянии наблюдал Джесси Л. Гринштейн, который обнаружил в ее спектре заметный избыток ультрафиолетового излучения и связал его, в частности, с активностью малых областей, где происходит магнитное пересоединение (Jesse L. Greenstein, 1977). Сегодня, когда в открытом доступе имеются данные космической обсерватории TESS, любителям астрономии можно легко получить синусоидальную кривую блеска AF Psc с быстрыми частыми микровспышками, ответственными за указанный избыток УФ излучения и отыскать среди них вспышку амплитудой около 0.1^m и длительностью около часа.

НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА

Наблюдения из космоса дают возможность изучать вспышки в коротковолновой области спектра, недоступной наземным инструментам. Для космической обсерватории «Хаббл» была разработана программа исследований красных карликов в ультрафиолетовом диапазоне HAZMAT¹. Супервспышка одной из дюжины наблюдавшихся молодых звезд превзошла все известные солнечные вспышки и была названа Hazflare: ее энергия в дальнем УФ диапазоне составила $10^{32.1}$ эрг, что соответствует болометрической светимости $10^{33.6}$ эрг (Parke Loyd et al., 2018).

Компьютерный анализ тысяч ультрафиолетовых снимков обзорного космического телескопа GALEX об-

¹ Habitable Zones and M dwarf Activity across Time – зоны обитаемости и активность карликов спектрального типа M, разного возраста.



Кривая блеска AF Psc по данным космического телескопа TESS: за 10 суток, показывающая частные микровспышки (а); фрагмент за 1 сутки, на котором видна вспышка амплитудой 0.1^m и длительностью около часа (б)

наружил ряд активных карликов спектрального типа M, средняя энергия вспышек которых в ближнем УФ диапазоне составила $2.5 \cdot 10^{30}$ эрг. Данные GALEX подтвердили наличие быстрых колебаний яркости корональных петель с периодом около 30–40 с, ранее обнаруженных в КрАО, а длительность вышеупомянутых микровспышек AF Psc не превысила 300 с в дальней УФ полосе и 500 с – в ближней (Barry Y. Welsh et al., 2007).

Поскольку существенная доля излучения вспышек приходится на рентгеновский диапазон, то их регистрируют



Супервспышка Hazflare в представлении художника. Источник: NASA

рентгеновские космические обсерватории. Например, в данных обзора ROSAT Флеминг отыскал 54 близких к Солнцу активных карлика спектрального типа M (Thomas A. Fleming, 1998).

Хотя основной целью космической обсерватории TESS является поиск экзопланет в обитаемой зоне, ее сверхточная фотометрия помогает изучать быстропротекающие небесные явления, включая вспышки красных карликов. Благодаря взаимовыгодному партнерству программистов с астрономами удалось выявить в данных TESS 166 слабых вспышек AF Psc за 24 суток регистрации. Одна из оптических вспышек совпала с моментом наблюдения данной области космическим рентгеновским телескопом SWIFT, который, однако, не обнаружил там ни ультрафиолетового, ни рентгеновского свечения. Это позволило наложить верхнее ограничение на энергию вспышки в полосах SWIFT (Kathryn Szymborski et al., 2023).

В настоящее время продолжается изучение богатого наследия предшественника TESS – космического телескопа Kepler, прекратившего работу в 2013 г. Статистический анализ данных по 540 активным карликам из архива Kepler обнаружил заметное воз-

растание активности звезд спектрального типа M4, что согласуется с моделью турбулентного динамо. Кроме того, китайские астрономы установили, что даже незначительное усиление активности хромосферы способно вызвать огромный рост энергии вспышки, т. е. что супервспышки или гипervспышки могут не нуждаться в дополнительном механизме возбуждения (Huiqin Yang et al., 2017). Обсуждаемая выше звезда Бонда также попала в обзор Kepler. Гейвин Рамзай и Дж. Герри Дойл насчитали 14 вспышек AF Psc за 9 суток регистрации, а благодаря четким периодическим колебаниям блеска вращающейся звезды определили, что все они исходят из одной активной области (Gavin Ramsay, J. Gerry Doyle, 2014).

Даже тесное соседство AD Leo со звездой второй величины γ Льва не помешало 15-см телескопу канадского микроспутника MOST с высочайшей точностью регистрировать звездные вспышки. При выдержке длительностью 1 мин была достигнута погрешность фотометрии в полосе V порядка 0.0001 звездной величины. В отличие от звезды Бонда, у AD Leo прецизионные измерения блеска обнаружили множество активных зон (Nicholas M. Hunt-Walker et al., 2012).

НАЗЕМНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Синхронные наблюдения вспыхивающих звезд с помощью различных инструментов особенно информативны. В конце прошлого века КрАО были организованы международные кампании по многочасовому одновременному мониторингу EV Лас многоцветной фотометрией, спектрографированием, радиопатрулем. В кампании 1991 г. наблюдения проводились в Крыму, в Греции, на Канарских островах и на Кавказе. За 50 часов было зарегистрировано

более 40 вспышек, в том числе мощнейшая получасовая супервспышка амплитудой $\Delta m = 3.7$. Наиболее мощные вспышки EV Lac, зарегистрированные КРАО в ходе этих кооперативных кампаний, продолжались от 9 до 154 мин, а диапазон температуры вспышечной плазмы составил от 10 000 до 25 000 К. Площадь свечения по порядку величины оказалась близкой к размерам Земли, что на два порядка превышает характерный размер солнечных вспышек и позволяет сделать вывод, что основное отличие звездных вспышек от солнечных состоит в их размере при близости потока излучения с единицы площади (Р.Е. Гершберг, 2016).

Систематическая обработка данных наземного автоматического обзора ASAS-SN² также приносит ценные результаты. Например, Роми Р. Мартинес с коллегами обнаружила в архивах ASAS-SN супервспышку амплитудой около $\Delta m_V \sim 10$ у ранее неизвестного карлика спектрального типа М и оценила энергию этой вспышки в полосе V как $(4.1 \pm 2.2) \cdot 10^{36}$ эрг. Таким образом, данная вспышка оказывается наиболее сильной из известных вспышек карликов этого спектрального типа. Найденная кривая блеска содержит всего три точки за 5 минут наблюдений (Romy Rodríguez Martínez et al., 2018). Эти же авторы по результатам анализа данных ASAS-SN опубликовали каталог вспышек красных карликов и выделили среди них 62 звезды, показавшие вспышки амплитудой $\Delta m_V = 0.12\text{--}2.04$, энергия которых в наблюдаемой полосе составила соответственно от $2.0 \cdot 10^{30}$ до $6.9 \cdot 10^{35}$ эрг (Romy Rodríguez Martínez et al., 2020).

Среди 35 миллионов кривых блеска из архива широкоугольного обзора

транзиентов ZTF³, обработанных по алгоритмам машинного обучения, были обнаружены 134 вспышки красных карликов амплитудой $\Delta m = 0.2\text{--}4.6$. Для 13 из них удалось оценить болометрическую энергию, которая лежит в диапазоне примерно от $7 \cdot 10^{33}$ до $4 \cdot 10^{35}$ эрг.

Итак, в настоящее время для изучения активных красных карликов привлечен весь могучий арсенал современной всеволновой астрономии, а также автоматическое просеивание данных, полученных обзорными роботами и космическими обсерваториями. Накоплен огромный объем астрофизической информации, установлены статистические корреляции между частотой, длительностью и амплитудой вспышек для звезд разной массы и металличности, построены модели взрывных процессов и эволюции этих бурлящих светил, опубликованы тысячи статей, выпущены монографии и популярные брошюры. Что же остается любителям астрономии с их скромными инструментами?

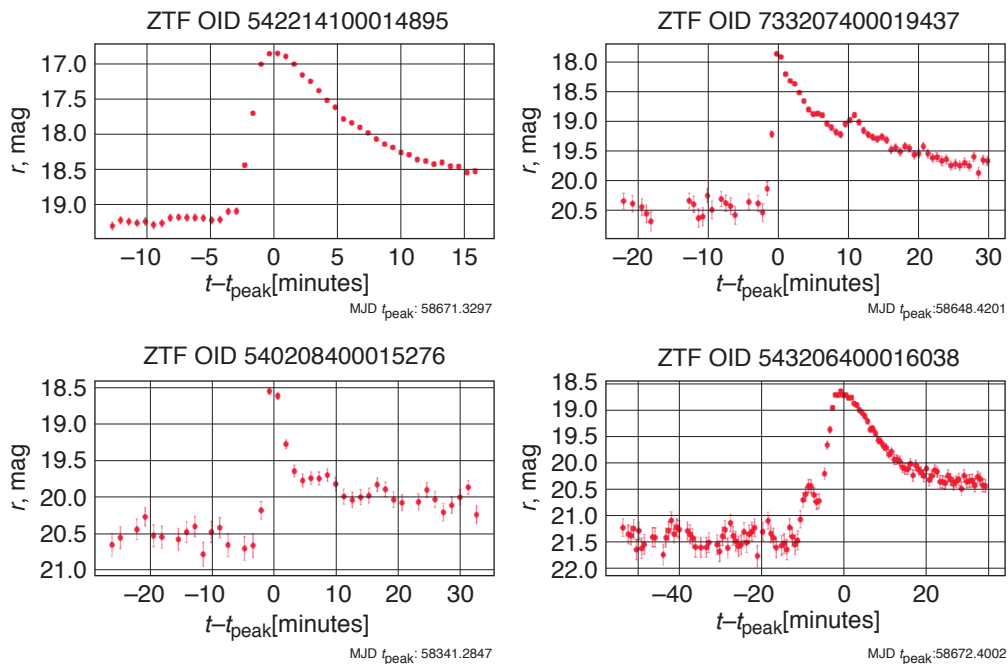
ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Драгоценное наблюдательное время крупных наземных и космических телескопов расписано по секундам, а обзорные роботы механически «щелкают» площадку за площадкой, загружая в хранилища невероятную массу изображений, требующих последующего вдумчивого анализа. Существует глобальная сеть автоматических телескопов МАСТЕР⁴ для оперативной регистрации быстропотекающих

³ ZTF (Zwicky Transient Facility) – обзор Паломарской обсерватории, названный в честь швейцарского астронома Фрица Цвикки.

⁴ МАСТЕР (Мобильная Астрономическая Система Телескопов-Роботов) – глобальная сеть телескопов-роботов МГУ имени М.В. Ломоносова, созданная под руководством профессора В.М. Липунова.

² ASAS-SN (All Sky Automated Survey for SuperNovae) – глобальная сеть телескопов-роботов для поиска сверхновых.



Примеры вспышек красных карликов из архива ZTF (A.S. Voloshina et al., 2024)

небесных явлений, но она ориентирована на более масштабные транзиенты – вспышки сверхновых, блазаров, барстеров, послесвечение гамма-всплесков. Хотя переменные типа UV Кита тоже попадают в богатый улов МАСТЕРА, стремительное нарастание их блеска бросает вызов быстродействию телескопов-роботов.

Пусть любители астрономии оснащены несопоставимо скромней, но зато обладают такими преимуществами, как возможность осуществлять длительный мониторинг одного объекта и охватить при съемке многократно большую площадь неба, чем способны огромные телескопы. Пример тому – продуктивный проект российских любителей, которые соорудили под темным кавказским небом «Астроферму», батарею из 6 полностью автоматических небольших широкоугольных телескопов, еженощно покрыва-

ющих 147 площадок в Млечном Пути. Обработка полученных изображений с помощью программы К. Соколовского VaST позволяет отыскивать среди миллионов звезд объекты, яркость которых изменилась не менее чем на 1^m . С 2020 г. на «Астроферме» открыты три Новых звезды, несколько карликовых Новых и около 20 звезд типа UV⁵.

Международная ассоциация наблюдателей переменных звезд AAVSO, объединяющая с 1911 г. целеустремленных любителей и создавшая за столетие крупнейший каталог переменных, регулярно проводит кампании по заявкам профессиональных астрономов, нуждающихся в свежих данных для оптимизации программ космических и наземных

⁵ См. ЗиВ, 2012, №5 и видеозапись лекции С. Короткого «Открытия на Астроферме (Сиб-Астро 2024)».

обсерваторий. Такая волонтерская деятельность вполне соответствует благородной миссии AAVSO: дарить возможность каждому и отовсюду участвовать в научных открытиях, наблюдая переменные звезды.

Хорошо подготовленные энтузиасты AAVSO осуществляют и самостоятельные исследования, например, продолжительные синхронные наблюдения EV Lac с разных телескопов апертурой от 0.35 до 0.5 м, одновременно выполненные в синей (B) и зеленой (V) полосах спектра и включавшие также спектрографию низкого разрешения. С октября 2021 по январь 2022 г. девять участников проекта провели 107 фотометрических и 72 спектрографических сессии, причем в 39 из них спектральные наблюдения выполнялись одновременно с двцветной фотометрией. В течение этих 39 сессий удалось зафиксировать 10 вспышек амплитудой $\Delta m_B > 0.1$. Был измерен показатель цвета B-V, который при вспышках падал от 1.65 до 1.0, что указывает на резкий рост температуры. Калибровка спектров с использованием фотометрических данных позволила выполнить оценку энергии вспышек в полосе B, которая лежала в диапазоне от $10^{30.8}$ до $10^{32.6}$ эрг (David Boyd et al., 2023).

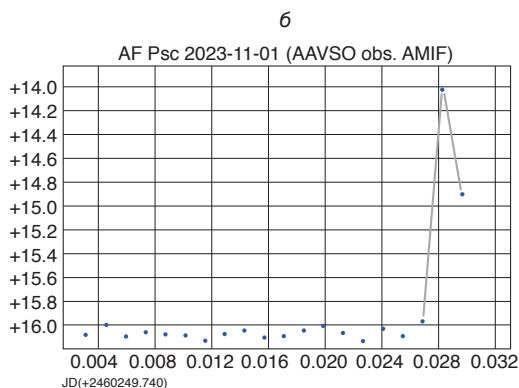
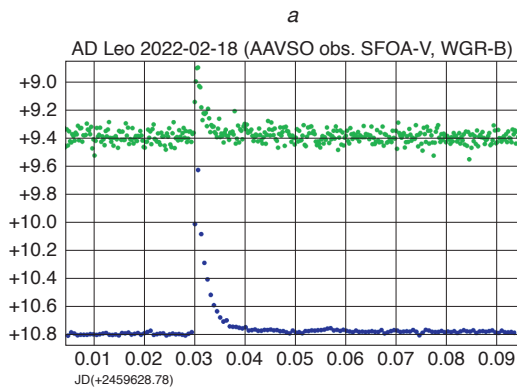
В базе данных AAVSO содержатся кривые блеска AD Leo, также полученные при синхронных наблюдениях и наглядно демонстрирующие разницу в амплитуде вспышек, наблюдаемых через разные фильтры. Отметим очевидную целесообразность мониторинга красных карликов в синем цвете, где вспышки на фоне звезды проявляются наиболее отчетливо.

Автор данной статьи предпринял скромную попытку подобного мониторинга вспыхивающей звезды Бонда посредством удаленного телескопа сети

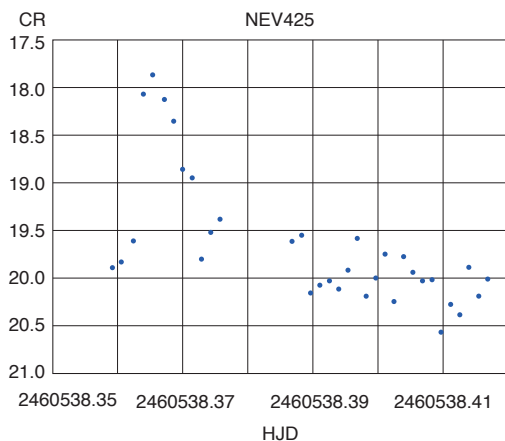
AAVSONet апертурой 0.6 м. Для неяркой звезды, блеск которой в спокойном состоянии составляет около $m_V \approx 14.5$ и $m_B \approx 16$, в базе нашлись всего три наблюдения (исключая сотню «слабее чем»): пара визуальных оценок 10.9^m и 11.2^m , полученных 1999-09-05 с интервалом 1 мин, а также единственная точка $m_V = 13.9$ от 2021-08-07. Эти данные, возможно, указывают на бывшие вспышки карлика.

Непродолжительный мониторинг, проведенный в конце 2023 г., состоял из 5 сессий длительностью 30 мин каждая. Съемка выполнена на ПЗС-камеру с синим фотометрическим фильтром Джонсона; выдержка в первой сессии была установлена 45 с, во второй 90 с и в остальных 60 с. Интервал между кадрами составлял 30 с. Такой, образно выражаясь, «неторопливый» инструмент не способен обнаружить упомянутые быстрые частые микровспышки AF Psc. Так, при спокойном состоянии звезды разброс данных превышал их амплитуду и достигал $\Delta m_B \approx 0.1-0.2$. Однако, несмотря на инструментальные ограничения, в самом конце второй сессии удалось вполне уверенно зафиксировать пик вспышки амплитудой не менее $\Delta m_B \approx 2$, хотя на него пришлось всего две точки.

Таким образом, за 2.5 часа наблюдений AF Psc обнаружена единственная вспышка умеренной яркости. В данных обзора ASAS-SN нашлось наблюдение, состоявшееся через 30 мин после данной вспышки, однако прироста блеска оно не показало ($m_g \approx 15$). Это накладывает предел на ее длительность: не более получаса. Приблизительная оценка частоты вспышек AF Psc с амплитудами $\Delta m_V > 0.3$, сделанная по данным ASAS-SN за 10 лет, показала, что ожидать их можно примерно раз в сутки. Частичный успех мониторинга подтверждает, что любительские наблюдения вполне способны пополнить



Вспышки AD Leo (*a*) и AF Psc (*б*) по данным AAVSO



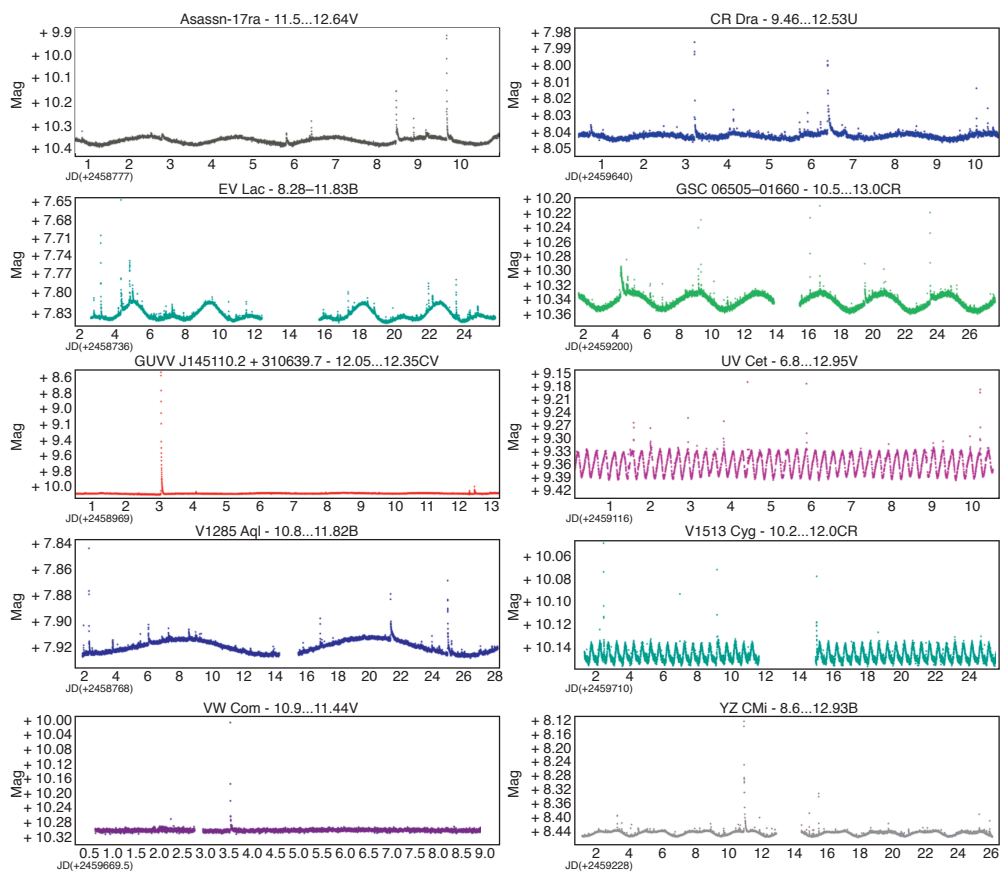
Вспышка красного карлика NEV425 (данные AAVSO)

статистику вспышек, которую десятилетиями накапливают обзорные роботы.

Впрочем, внимательному опытному наблюдателю по силам гораздо большее. Известный белорусский астроном Виталий Невский, построивший под Витебском обсерваторию с самодельным 300-мм телескопом системы Ньютона, регулярно пополняет каталог AAVSO новыми переменными звездами. Так, в августе 2024 г., производя серийную съемку участка неба в Геркулесе, Невский обнаружил на кадрах слабую звездочку, которая после внезапной вспышки быстро потеряла блеск. В пике яркость нефiltroванного изображения составила $m_{CR} \approx 18$, а через 20 мин снизилась до $m_{CR} < 20$.

Несмотря на то что изображение мерцало на пределе чувствительности камеры, полученная характеристическая кривая блеска и уточненный по каталогу обзора красных карликов (West A.A. et al., 2011) спектральный тип звезды позволили надежно установить ее принадлежность к переменным UV Кита. Новый вспыхивающий карлик получил обозначение NEV425. Нетрудно догадаться, что по счету он оказался 425-й переменной звездой, открытой витебским наблюдателем.

Из-за непредсказуемости момента и яркости вспышек длительный мониторинг карликов целесообразно выполнять автоматически, однако и любители визуальных наблюдений могут иногда направить на них свои трубы «добсоны». По кривым блеска некоторых ярких звезд типа UV Кита, зная доступную телескопу предельную звездную величину, можно примерно оценить вероятность визуального обнаружения



Примеры кривых блеска ярких звезд типа UV Кита по данным TESS и диапазон их яркости согласно каталогу AAVSO

вспышек. Диапазон изменения яркости соответствует каталогу, но эти звезды способны многократно его превзойти. Хотя шансы заметить супервспышку невелики, при ее обнаружении следует максимально точно зафиксировать время наблюдения и ежесекундно оценивать блеск по звездам сравнения, указанным на картах AAVSO.

Всестороннее изучение вспышек самых многочисленных звезд Галактики продолжается, и успешные любительские наблюдения этого трудноуловимого явления представляют несомненную научную ценность.

Литература

1. Гершберг П.Е. Вспыхивающие красные карлики и звездная активность солнечного типа - полвека исследований в Крымской астрофизической обсерватории // Известия Крымской астрофизической обсерватории. 2017. Т. 113. № 1. С. 36–77.
2. Гершберг П.Е. Солнечная активность в мире звезд. М.: Знание, 1990. 64 с., ил.
3. Подгорный А.И., Подгорный И.М. Условия возникновения солнечной активности // Земля и Вселенная. 2013. № 3. С. 3–16.
4. David Boyd et al. Combined Spectroscopic and Photometric Analysis of Flares in the Dwarf M Star EV Lacertae // Journal of the AAVSO. 2023. Vol. 51. N 1. 12 p.

EUROPA CLIPPER СТАРТОВАЛ К СИСТЕМЕ ЮПИТЕРА

DOI: 10.7868/S00044394824050086



Изображение аппарата Europa Clipper при подлете к Европе в представлении художника. Изображение: NASA/JPL-Caltech

Первая автоматическая станция для детального изучения спутника Юпитера Европы – аппарат NASA *Europa Clipper* был запущен с помощью ракеты-носителя Falcon Heavy компании SpaceX с космодрома Космического центра имени Кеннеди (США) 14 октября. Основной целью миссии является изучение Европы с точки зрения возможности существования на ней жизни.

Гипотеза о том, что на спутнике Юпитера Европе, как, например, и на спутнике Сатурна Энцеладе, могут быть условия, пригодные для жизни, обсуждается уже давно. После первых данных, полученных предыдущими миссиями, в первую очередь Galileo (NASA), было выдвинуто предположение о том, что на Европе существует подледный океан глубиной 60–150 км, покрытый слоем льда толщиной 15–25 км. Вода – это первое необходимое условие для жизни.

Можно предположить, что океан Европы имеет сходство с океаном спутника Сатурна Энцелада, который лучше изучен, потому что сквозь трещи-

ны льда из-под поверхности вырываются гейзеры воды, и таким образом, есть возможность определить состав этой воды напрямую.

Итак, на Европе, весьма вероятно, есть глобальный соленый океан, покрытый толстым слоем льда. В толще его воды нет света, но вероятно присутствие водорода и углекислого газа, а также источника энергии в виде гидротермальных источников и/или приливных взаимодействий. В таких условиях вполне возможно предположить существование подледной или эндогидросферной жизни. Правда, важно отметить, что в рамках миссии *Europa Clipper* речь все же идет об изучении там условий, которые пригодны для жизни, что само по себе еще не говорит о существовании там самой жизни.

Миссия *Europa Clipper* должна решить следующие основные задачи:

1. Определить толщину ледяного покрова океана Европы и выяснить, каким образом происходит его взаимодействие с водой.

2. Провести анализ химического состава океана.

3. Изучить геологическое строение Европы, возможно, обнаружить выходы воды на поверхность в виде гейзеров (как на Энцеладе) и исследовать их состав.

Для решения этих задач космический аппарат укомплектован девятью научными приборами:

1. Комплекс фотокамер высокого разрешения EIS (Europa Imaging System). Предполагается получить

снимки 90% поверхности Европы, в том числе совсем близко к поверхности спутника с высоты всего 25 км.

2. Мультиспектральная камера высокого разрешения теплового диапазона E-THEMIS (Europa Thermal Emission Imaging System) будет исследовать поверхность спутника Юпитера в инфракрасном диапазоне, что позволит обнаружить области с более тонким слоем льда.

3. Инфракрасный картирующий спектрометр MISE (Mapping Imaging Spectro-meter for Europa) для исследования химического состава верхних слоев ледяного «панциря» Европы. С его помощью будут построены карты распространения льдов, солей и органических соединений.

4. Ультрафиолетовый спектрограф Europa-UVS (Europa Ultraviolet Spectrograph) для изучения химического состава экзосферы и поверхности, а также поиска возможных выбросов под-поверхностного вещества.

5. Анализатор пыли с поверхности Европы SUDA (Surface Dust Analyzer) для определения химического состава частиц пыли в экзосфере спутника.

6. Масс-спектрометр MAss Spectrometer for Planetary EXploration/Europa (MASPEX) также для изучения химического состава экзосферы, в особенности газов вблизи возможных выбросов воды из-подо льда.

7. Радар REASON (Radar for Europa Assessment and Sounding: Ocean to Near-surface) для изучения внутреннего строения Европы, поиска «карманов» воды внутри поверхностного слоя льда, а также построения карты высот поверхности.

8. Магнитометр ECM (Europa Clipper Magnetometer) для измерения магнитных полей в окрестности Европы. Магнитное поле спутника «наведено»

магнитным полем Юпитера, вероятно, в результате возникновения электрических токов в океане. Эти данные помогут узнать, из чего состоит подледный океан (по тому, как он проводит ток) и насколько он глубок.

9. Плазменный анализатор PIMS (Plasma Instrument for Magnetic Sounding) для регистрации плазменных потоков вблизи Европы. Эти данные нужны также для корректной обработки данных ECM.

Кроме того, с помощью служебных радиоантенн для передачи данных планируется провести эксперимент Gravity and Radio Science по изучению гравитационного поля Европы, что, в свою очередь, поможет уточнить ее внутреннюю структуру.

Ожидается, что перелет *Europa Clipper* продлится 5.5 лет. Аппарат должен будет преодолеть 2.9 млрд км и совершить два гравитационных маневра: один у Марса в феврале 2025 г., второй у Земли в декабре 2026 г.

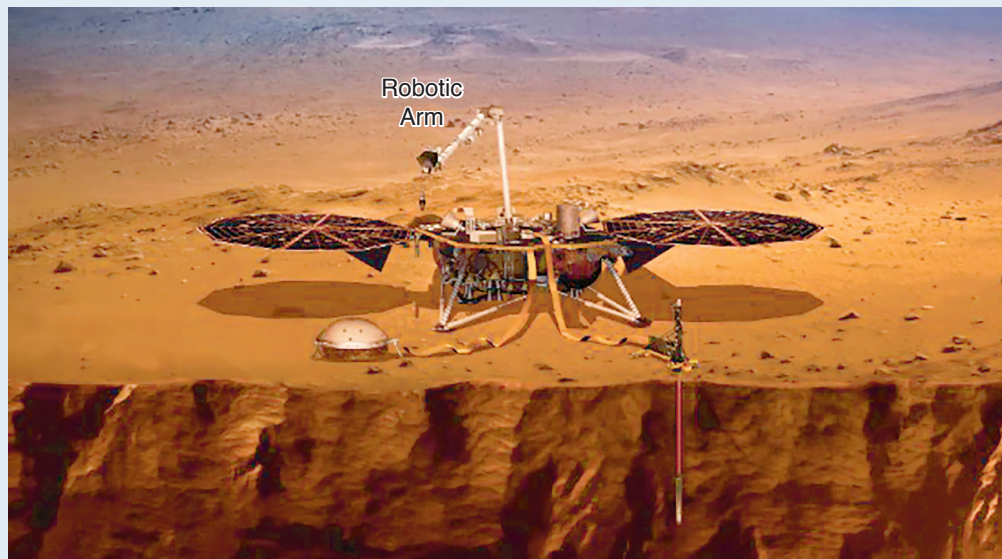
Прибытие в систему Юпитера намечено на апрель 2030 г. Там станция должна совершить 80 оборотов вокруг планеты, за время которых 50 раз пролетит рядом с Европой – в некоторых случаях на высоте всего 25 км. На изучение спутника аппарату отведено три земных года.

До сих пор только NASA отправляла космические корабли к Юпитеру. Первыми аппаратами, совершившими пролет через систему планеты, и в том числе у Европы, стали *Pioneer-10* и *Pioneer-11* в 1973–1974 гг. Затем, в 1979 г., пролеты у Юпитера выполнили два аппарата *Voyager-1* и -2, а в 1995–2003 гг. у планеты очень успешно работал аппарат *Galileo*. В 2016 г. к Европе была запущена межпланетная автоматическая станция *Juno*, которая работает там и в настоящее время.

Europa Clipper. Сайт миссии NASA <https://science.nasa.gov/mission/europa-clipper/>

НА МАРСЕ НАШЛИ ВОДУ ПОД ПОВЕРХНОСТЬЮ

DOI: 10.7868/50044394824050098



Посадочный модуль InSight, работающий на поверхности Марса. Источник: NASA/JPL-Caltech

Планетологи из Калифорнийского университета в Беркли и Сан-Диего (США) на основе геофизических данных, полученных посадочным модулем NASA *InSight* (работал на поверхности Марса в 2018–2022 гг.), построили модель, которая показала, что под поверхностью Марса может находиться большое количество жидкой воды.

Авторы проанализировали сейсмические данные, которые передал модуль *InSight* из района марсианской равнины Элизий. Характер распространения сейсмических волн лучше всего объясняет модель, согласно которой на глубине от 11.5 до 20 км под поверхностью Марса находятся трещиноватые магматические горные породы,

пропитанные водой. При этом общий объем этой воды больше, чем оценивается в моделях палеоокеана, который, вероятно, существовал на Марсе в конце Ноахийского и во время Гесперийского периода (примерно от 3.6 до 3.1 млрд лет назад).

«Результаты нашей работы имеют большое значение для понимания особенностей функционирования круговорота воды на древнем Марсе, существования жидкой воды на поверхности этой планеты в прошлом, а также для поиска следов возможной прошлой и настоящей жизни. Важно это и для будущих марсианских миссий», – пишут авторы исследования в своей статье, опубликованной в журнале

Proceedings of Natural Academy of Science (PNAS).

В настоящее время у планетологов практически не вызывает сомнения тот факт, что примерно в конце Ноахийского периода, который завершился примерно 3.6 млрд лет назад, климат на Марсе был теплым и влажным, а на его поверхности существовали целые речные системы с дельтами, руслами, напоминающими земные, озера, а возможно, и океан. Именно в тот период на Марсе могла зародиться жизнь.

Но затем, на рубеже Ноахийского и Гесперийского периодов произошла глобальная природная перестройка, вероятнее всего, из-за катастрофы, возможно, из-за столкновения с крупным астероидом, в результате которой Марс потерял магнитное поле, на его поверхность обрушилось космическое излучение и наступило похолодание: средняя температура упала ниже 0 градусов по Цельсию. Марс начал замерзать.

Большой загадкой остается вопрос о том, куда исчезла марсианская вода. По разным гипотезам, часть гидросферы Марса должна была улетучиться в космос из-за отсутствия магнитного поля; часть сохранилась в виде вечной мерзлоты под поверхностью планеты; часть – в виде ледяных шапок на марсианских полюсах, а часть, по-видимому, ушла на большую глубину, о чем и свидетельствует новое исследование.

Самое интригующее в существовании воды под поверхностью на большой глубине то, что жизнь, если она успела возникнуть на Марсе, после катастрофы могла спрятаться от губительного космического излучения именно там. Получается, что подземные воды – это единственная экониша, где жизнь могла сохраняться на протяжении всей истории Марса, вне зависимости от изменений условий на его поверхности.

Vashan Wrighta et al. Liquid water in the Martian mid-crust // PNAS. 2024; 121 (35)

<https://www.pnas.org/doi/pdf/10.1073/pnas.2409983121>

14.08.2024 InSight data may have revealed water deep below the surface of Mars <https://www.earthscope.org/news/insight-data-may-have-revealed-water-deep-below-the-surface-of-mars/>

Подготовила А. Ф. Говорова

РУССКИЙ КОСМИЗМ В МУЗЫКЕ: «БЫЛИНА О СВЯТОГОРЕ»

Композитор Юрий Дунаев, слова Игоря Кобзева

МАРУСЕВ Александр Сергеевич,

исполнительный директор Ассоциации музеев космонавтики России

ГАЧЕВА Анастасия Георгиевна,

*доктор филологических наук, ведущий научный сотрудник ИМЛИ РАН,
организатор лектория «Космос и будущее»*

ДУНАЕВА Анастасия Юрьевна,

кандидат исторических наук

DOI: 10.7868/50044394824050104



Композитор Ю.А. Дунаев

2 апреля 2024 г. в рамках всероссийского культурно-просветительского проекта «Два Гагарина», приуроченного к 90-летию со дня рождения первого космонавта Юрия Гагарина и 195-летию со дня рождения философа-космиста Николая Фёдоров, потомка рода князей Гагариных, который первым обосновал идею выхода человечества в космос, в Российской государственной библиотеке состоялась презентация «Былины о Святогоре» – произведения заслуженного деятеля искусств России, композитора Юрия Александровича Дунаева (1937–2022) на слова поэта Игоря Ивановича Кобзева (1924–1986). Презентацию провела дочь композитора кандидат исторических наук Анастасия Дунаева, которая рассказала о том, как созда-

валось это произведение. Прозвучала фондовая запись Всесоюзного радио 1988 года. Исполнители: Академический Большой хор Гостелерадио СССР, Академический оркестр народных инструментов Гостелерадио СССР, дирижер народный артист СССР Николай Некрасов. Солист заслуженный артист РФ Анатолий Бабыкин (бас).

Конференц-зал Российской государственной библиотеки наполнился торжественными, величавыми звуками, передающими богатырскую поступь Святогора. Его сверхзадача – поднять Землю – казалась неразрешимой. И тем не менее Святогор предпринял такую попытку, которая закончилась его гибелью.

Изначально Игорь Кобзев следовал классическому сюжету былины. Однако Юрий Дунаев попросил своего соавтора изменить трагический конец сказания и написать продолжение – связать древний сюжет с современностью. Интуиция поэта подсказала интересный ход. В стремлении Святогора под-

нять Землю он почувствовал то чаяние Космоса, которое жило в душах наших далеких предков, но было реализовано только спустя столетия – в полете Юрия Гагарина, преодолевшего земное притяжение, свершение которого подготовил весь советский народ. «Былина о Святогоре» в интерпретации Игоря Кобзева соединила истоки русской истории и ее важнейшее достижение – выход человека в космос.

Слушая «Былину о Святогоре», мы невольно вспоминали слова Николая Фёдоровича Фёдорова, который, отвечая Гоголю, в своей работе «Вопрос о братстве и родстве...» писал: «Ширь русской земли способствует созданию богатырских характеров. Наш простор служит переходом к простору небесного пространства, этого нового прищипа для великого подвига».

Юрий Александрович Дунаев – это композитор-философ, композитор-просветитель. И в полном смысле слова композитор-космист. Он не раз повторял, что не только поэзия – родная



Презентация «Былины о Святогоре» Ю.А. Дунаева в Российской государственной библиотеке. 2 апреля 2024 г.

сестра музыки, как это утверждал Сергей Васильевич Рахманинов, но что и философия – ее родная сестра. Нелучайно среди его сочинений – масштабные философские полотна: вокально-хоровой цикл «Восторг внезапный ум пленил...» в 10 частях на стихи М.В. Ломоносова, хоровая поэтория «Река времён» в 18 частях на слова Г.Р. Державина.

Юрий Дунаев отождествлял свою музыку с характером России, с глубинными течениями, которые свойственны русской природе, русскому быту, русскому самосознанию, русской истории.

Судьба «Былины о Святогоре» складывалась драматично. Ее премьера состоялась в 1975 г. на праздновании 1000-летия старинного русского города Трубчевска, на открытии памятника древнего русского певца и сказителя Бояна. Участвовали Оркестр народных инструментов «Боян» под руководством народного артиста СССР Анатолия Полетаева, сводный хор Брянска и Трубчевска и солист Большого театра Борис Морозов. В 1981 г. планировалось исполнение «Былины о Святогоре» во время торжеств, посвященных двадцатилетию советского космоса на Красной площади в Мо-

скве. Но из-за вмешательства Председателя Гостелерадио Сергея Лапина, посчитавшего что идея социалистического патриотизма не может быть выражена жанром былины, исполнение «Былины о Святогоре» на Красной площади на состоялось.

Трудной была судьба «Святогогора» и в постсоветское время, когда неприятие вызвало словосочетание «наш советский народ молодецкий». По сути, это масштабное художественное произведение до сих пор не было востребовано.

Между тем, образ богатыря – образ мужества, добра, справедливой силы – очень важен для воспитания подрастающих защитников Отечества. Уникальное сочетание национального архетипа в лице древнего богатыря Святогора с известным всему миру образом Юрия Гагарина, богатыря XX века, величие космического подвига – все это, несомненно, служит положительным примером даже для младших школьников. Пример тому – исполнение произведения на ВВЦ в рамках фестиваля «Пора в космос» в 2019 г., когда юные космонавты очень внимательно слушали «Былину».

Фотографии предоставлены авторами.

«Былина о Святогоре». Композитор Юрий Дунаев. Поэт Игорь Кобзев. Академический Большой хор Гостелерадио СССР, Академический оркестр народных инструментов Гостелерадио СССР, дир. народный артист СССР Николай Некрасов. Солист заслуженный артист РФ Анатолий Бабыкин (бас). Запись из фондов Всесоюзного радио. 1988 г.

Послушать «Былину о Святогоре»
можно в социальной сети
«ВКонтакте».



ЧЕТВЕРТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Ответы

Вопросы см. на с. 22

Вопрос 4 (8–9 классы)

Давайте порассуждаем, какие «за» и «против» есть в нашем распоряжении.

Во-первых, лунные пейзажи чем-то напоминают песчаные барханы в пустыне. Судя по фотоснимкам, сделанным астронавтами Аполлонов, а также нашими Луноходами и Луноходами других стран, там много мест на поверхности, где почти не встречается крупных камней (рис. 1, 2).



Рис. 1

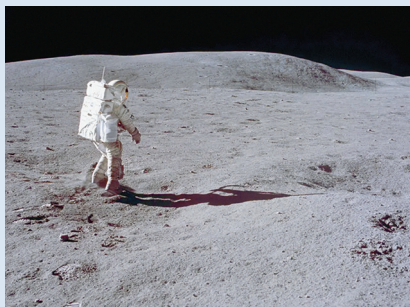


Рис. 2

И если убрать с предполагаемого места спуска относительно крупные и мелкие камни, то сани возможно смогут ехать.

Еще одно обстоятельство «за»: на Луне сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле, а значит и сила трения в 6 раз меньше.

Есть и неприятные моменты.

Первый момент, лунный грунт, или реголит, абразивен. Это связано с формой мелких частиц реголита (рис. 3, 4) и твердостью минерала, из которого он состоит.

Советские ученые под руководством академика А. Виноградова выяснили, что лунный грунт состоит в основном из двуоксида кремния, окиси титана, алюминия, железа, магния и кальция. Твердость же лунного грунта близка к его земному аналогу – андезитобазальтовому песку.

Тем не менее надо сказать, что износ (стирание) материала конструкций (полозьев) при скольжении по лунному реголиту на Луне будет происходить медленнее, чем если бы мы скользили по тому же лунному реголиту, но на Земле. Это связано с тем, что давление на грунт будет меньше Земного опять же из-за меньшей силы тяжести. Это легко можно доказать на практическом примере. Если точить

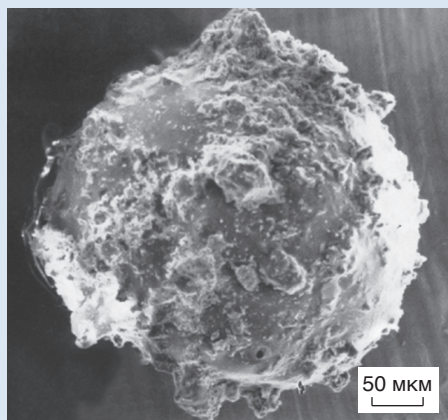


Рис. 3

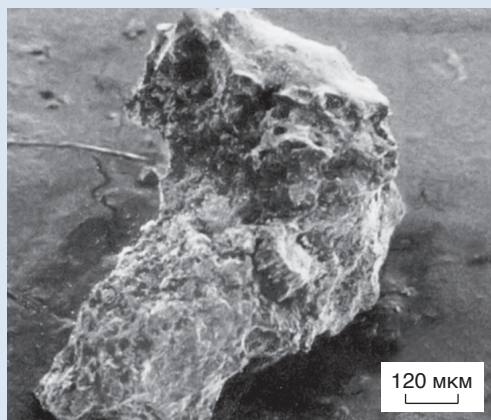


Рис. 4



Рис. 5

топорище на точильном станке, при этом слабо прижимать его к абразивному диску, то точить топор мы будем дольше, чем если бы мы прижимали топорище плотнее.

Еще одним неудобным моментом является то, что люди на Луне находятся в массивных неповоротливых скафандрах (рис. 5). Общая масса скафандра EVA «Аполлон-15–16» составляла 96.2 кг.

Вес человека в скафандре на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле, но тем не менее массу и инерцию никто не отменял. Упадешь – встать будет непросто. Кроме того, центр тяжести человека в скафандре смещен относительно центра тяжести человека без скафандра. В результате космонавту приходится стоять с небольшим наклоном к поверхности Луны.

Все это делает перемещение космонавта на лыжах практически невозможным и даже опасным. Хотя попробовать было бы интересно. А вот съехать с какого-то специально оборудованного склона на санях специальной конструкции, думаю, вполне возможно, хотя и тоже небезопасно. Конструкция саней могла бы быть такой (рис. 6, 7).

А может быть, и другой.

Для того, чтобы съехать с лунной горки (склона) на санях, космонавту, стоящему сзади, необходимо, как и на Земле, толкнуть сани с места (придать саням первоначальную скорость). При этом разгоняться сани будут значительно медленнее, чем на Земле, опять же, из-за малой силы тяжести. В связи с этим склоны для спуска необходимо выбирать покруче. (Исходя из прикидочных расчетов, угол наклона спускаемой поверхности к плоскости горизонта должен быть более 20°.)

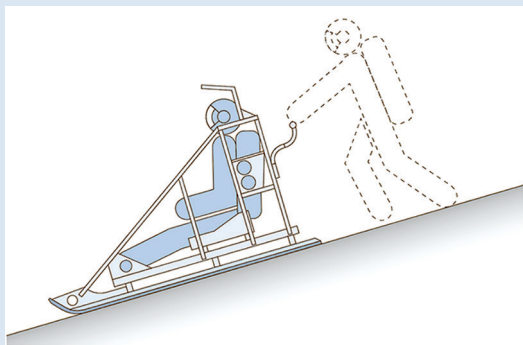


Рис. 6

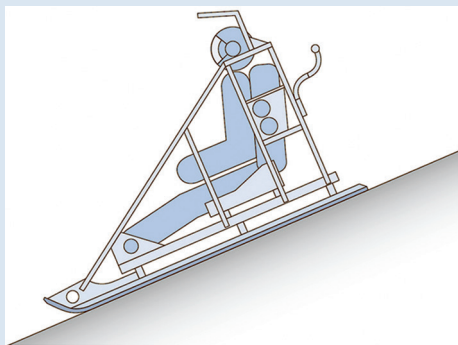


Рис. 7

При этом длина склона не должна быть большой во избежание набора большой скорости при спуске. Ввиду того, что сила тяжести в шесть раз меньше, чем на Земле, тормозной путь, соответственно, будет в шесть раз больше земного.

Тормозной путь рассчитывается по формуле $S = \frac{V^2}{2f_{\text{ск}}g}$; где: V – скорость тела в момент начала торможения; $f_{\text{ск}}$ – коэффициент трения скольжения тормозящегося тела (полозьев) о поверхность; g – ускорение свободного падения.

Теперь попробуем решить две простые задачи:

Определим угол наклона поверхности, при котором тело массой $m = 1$ кг начнет скользить по наклонной плоскости. Рассмотрим два случая.

В первом случае тело из титанового сплава высокой жесткости скользит по уплотненному лунному реголиту. Во втором – тело из дерева с обработанной поверхностью скользит по снегу, спрессованному ветром. Коэффициент трения скольжения во втором случае равен $f_{\text{ск}} = 0.2$.

Что касается первого случая, то коэффициент трения для титанового сплава по лунному реголиту равен $f_{\text{ск}} = 0.35$.

Данный показатель был взят мной из книги под названием «Автоматические станции для изучения поверхностного покрова Луны», издательство «Машиностроение», 1976 г., авторы книги: Кемурджиан А.Л., Громов В.В., Черкасов И.И., Шварев В.В.

В ней напечатана таблица, в которой приводятся коэффициенты трения для различных материалов по лунному реголиту, а также его аналогам (рис. 8).

Данные получены (как сообщается в этой книге) с использованием лунного грунта, доставленного станциями «Луна-16». Испытания проводились в вакууме.

Итак, решаем задачи.

Задача № 1 (рис. 9)

Определить угол наклона поверхности на Луне, при котором тело из титанового сплава массой m начнет скользить по наклонной плоскости, покрытой уплотненным лунным реголитом.

Коэффициенты трения различных контртел по лунному грунту и грунтам-аналогам

Контртело	Коэффициент трения			Примечание
	Лунный грунт (проба взята «Лун-ой-16»	Аналоги		
		Базальт дробле-ный	Песок андезито-базаль-товый	
Резина натуральная	0.50	0.50	0.65	Виден износ
Капроновая ткань, эластик	0.40	0.40	0.55	Интенсивно изнаши-вается
Фенилон	0.50	0.45	0.60	То же
Резина натуральная 30 РП	0.55	0.50	0.60	Видны следы износа
Силиконовая резина	0.55	0.50	0.60	Износа нет
Кожа натуральная	0.40	0.50	0.45	Виден износ
Магниевый сплав	0.30	0.20	0.30	Интенсивно изнаши-вается
Дуралюмин	0.45	0.25	0.40	Видны следы износа
Титановый сплав	0.35	0.30	0.30	Износа нет
Нержавеющая сталь	0.25	0.25	0.25	То же
Конструкционная сталь	0.30	0.25	0.30	»
Твердый сплав ВК8	0.30	0.40	0.30	»

Рис. 8

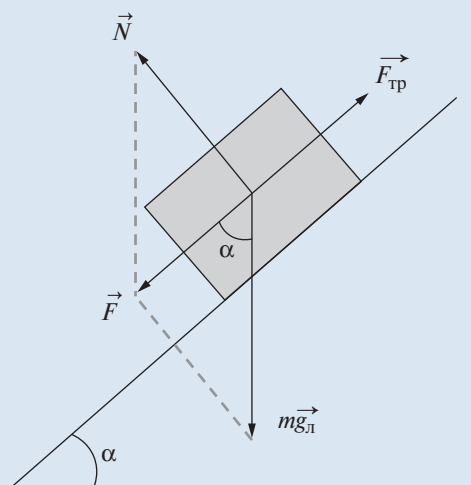


Рис. 9

Дано: масса тела $m = 1$ кг; коэффициент трения скольжения титанового сплава по лунному реголиту $f_{\text{ск}} = 0.35$; ускорение свободного падения для Луны $g_{\text{л}} = 1.62$ м/с².

Решение:

Теломассой m начнет скользить по поверхности, если будет выполняться следующее неравенство:

$$F - F_{\text{тр}} > 0,$$

где: $F_{\text{тр}}$ – сила трения на Луне.

Ее можно выразить следующим образом:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ск}} mg_{\text{л}} \cos \alpha,$$

где α – угол наклона плоскости скольжения; $mg_{\text{л}} \cos \alpha$ – сила давления на плоскость опоры от скользящего тела, F – равнодействующая силы тяжести на

Луне (от тела m) и силы давления на плос-кость опоры. F можно представить как $F = mg_{\text{л}} \sin \alpha$.

Таким образом:

$$mg_{\text{л}} \sin \alpha - f_{\text{ск}} mg_{\text{л}} \cos \alpha > 0.$$

Найдем, при каких значениях α неравенство выполняется.

Решая это неравенство, мы получим $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} > f_{\text{ск}}$ или $\text{tg} \alpha > f_{\text{ск}}$.

Подставляя вместо $f_{\text{ск}}$ значение 0.35, получим, что $\alpha > 19.3^\circ$.

Тело из титанового сплава массой m начнет скользить по поверхности Луны при угле наклона поверхности свыше 19.3° при условии, что $f_{\text{ск}}$ для титанового сплава и лунного реголита равно 0.35.

Если значение $f_{\text{ск}}$ уменьшить за счет использования какого-то другого сплава или материала, скользящего по лунному реголиту (например, нержавеющей стали), то и начальная величина угла наклона, при котором тело начало бы скользить, уменьшится.

Решим теперь вторую задачу.

Задача № 2 (рис. 10)

Определить угол наклона поверхности на Земле, при котором тело массой m из дерева, с обработанной поверхностью, начнет скользить по наклонной плоскости, покрытой снегом, спрессованным ветром.

Дано: Масса тела $m = 1$ кг;

Коэффициент трения скольжения тела из дерева (с обработанной поверхностью), скользящему по снегу, спрессованному ветром $f_{\text{ск}} = 0.2$;

Ускорение свободного падения для Земли $g_3 = 9.8$ м/с².

Решение:

Как было сказано в решении задачи № 1, теломассой m начнет скользить по поверхности, если будет выполняться следующее неравенство:

$$F - F_{\text{тр}} > 0,$$

где, в нашем случае, $F_{\text{тр}}$ – сила трения на Земле.

Ее можно выразить, как и ранее, следующим образом:

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ск}} mg_3 \cos \alpha,$$

где α – угол наклона плоскости скольжения; $mg_3 \cos \alpha$ – сила давления скользящего тела на плоскость опоры; F – равнодействующая силы тяжести на Земле (для тела массой m) и силы его давления на плоскость опоры. F можно представить как $F = mg_3$.

Подставляя эти выражения в неравенство, получим:

$$mg_3 \sin \alpha - f_{\text{ск}} mg_3 \cos \alpha > 0.$$

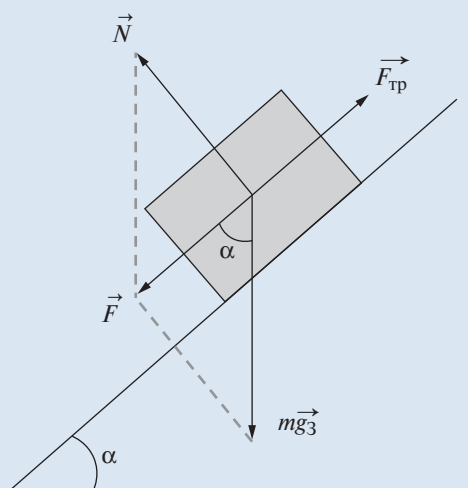


Рис. 10

Найдем, при каких значениях α неравенство выполняется:

Решая это неравенство, как и в задаче № 1, мы получим $\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} > f_{\text{ск}}$ или $\operatorname{tg} \alpha > f_{\text{ск}}$.

Подставляя вместо $f_{\text{ск}}$ значение 0.2, получим, что $\alpha > 11.4^\circ$.

Откуда следует, что на Земле тело массой m из дерева, с обработанной поверхностью, начнет скользить по наклонной плоскости, покрытой спрессованным ветром снегом, при угле наклона поверхности свыше 11.4° .

Теперь найдем силу трения, возникающую при скольжении тела для первого и второго случая, увеличив значения полученных углов наклона для первого и второго случая на 0.1 градус соответственно. (Тела и в том, и в другом случае начнут скользить.)

Случай № 1 (задача № 1)

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ск}} m g_{\text{д}} \cos \alpha; \text{ где } f_{\text{ск}} = 0.35; g_{\text{д}} = 1,6 \text{ м/с}; \alpha = 19.3 + 0.1 = 19.4.$$

Подставляя эти значения в формулу, получим:

$$F_{\text{тр}} = 0.35 \cdot 1 \cdot 1,6^* = 0,56 \cdot 0.943 = \underline{0.528 \text{ Н}}$$

Случай № 2 (задача № 2)

$$F_{\text{тр}} = f_{\text{ск}} m g_{\text{з}} \cos \alpha; \text{ где } f_{\text{ск}} = 0.2; g_{\text{з}} = 9.8 \text{ м/с}; \alpha = 11.4 + 0.1 = 11.5.$$

Подставляя значения в формулу, получим:

$$F_{\text{тр}} = 0.2 \cdot 1 \cdot 9.8^* = 1.96 \cdot 0.980 = \underline{1.921 \text{ Н}}$$

Таким образом, сила трения скольжения тела массой m из дерева, с обработанной поверхностью, по наклонной плоскости, покрытой снегом, спрессованным ветром (угол наклона плоскости скольжения α обеспечивает начало скольжения тела) на Земле, более чем в три раза ($1.921/0.528 = 3.638$) превосходит силу трения скольжения тела той же массы, но из титанового сплава, скользящего по наклонной плоскости, покрытой уплотненным лунным реголитом на Луне. При условии, что $f_{\text{ск}}$ для случая № 1 равно 0.35.

Расчеты, приведенные здесь, достаточно условные, и не учитывают всех физических факторов, которые будут воздействовать на скользящее тело, тем более, на сани, движущиеся по поверхности Луны.

Кроме ряда силовых воздействий на полозья саней, будет происходить еще и нагрев конструкции саней из-за перехода кинетической энергии движения саней в потенциальную энергию их нагрева за счет трения о поверхность, что так же может стать проблемой. В том числе это может повлиять на показатель трения.

Хочется еще добавить, что испытания лунного грунта все-таки проводились в земных условиях, а не на поверхности Луны, где условия отличаются от земных.

Следовательно, будут отличаться и полученные данные при измерениях, в том числе и коэффициент трения, если бы испытания проводились на Луне.

Из всего сказанного здесь можно заключить следующее: съехать на санях по склону на Луне, скорее всего, можно, но для этого необходимо, чтобы угол наклона склона был больше 20° к горизонту. Саням необходимо придать начальную скорость (т. е. разогнать их).

Длина спуска не должна быть слишком большой, что могло бы привести к набору большой скорости и созданию аварийной ситуации.

Материал полозьев саней должен иметь высокую твердость поверхности, сравнимую с твердостью поверхности лунных минералов, входящих в состав лунного

грунта (примерно твердость равна 7 по шкале Мооса), а также невысокий коэффициент трения скольжения по реголиту (желательно не более 0.35).

Место спуска должно быть, конечно, подготовлено. Убраны крупные и мелкие камни, засыпаны неровности.

После всего сказанного, естественно, возникает вопрос: а зачем это нужно и где это можно использовать?

А нужно это, может быть, прежде всего, для развлечения будущих космических туристов (если они, конечно, там когда-нибудь появятся), а также для транспортировки грузов и самих космонавтов. Ведь сани можно прикрепить к Луномобилю.

Так что не исключено, что на Луне когда-нибудь появятся свои «дровни», а может быть и сани на реактивной тяге.

Рекомендую посмотреть видеоролики по ссылкам:

<https://youtu.be/KXYMsDdHtAM>

<https://youtu.be/PN6u-T1Mml8>

<https://yandex.ru/video/preview/12197423759473780388>

Вопрос 5 (10–11 классы)

Для ответа на этот вопрос достаточно предположить, что:

1. Марс излучает как черное тело или σT^4 (Вт/м²), где σ – постоянная Стефана-Больцмана (5.67×10^{-8} Вт/м²/К), а T – температура, измеряемая в Кельвинах.

2. Сейчас мощность солнечного излучения на расстоянии 1 астрономической единицы (расстоянии от Солнца до Земли) составляет 1366 Вт/м².

3. Расстояние от Солнца до Марса составляет 1,524 астрономических единицы (а.е.м.).

4. Нужно учесть, что светимость молодого Солнца составляла 0.75 от текущих значений.

Уравнение теплового баланса можно записать как

$$\frac{L}{4\pi R_M^2} \pi r_M^2 (1-A) = 4\pi r_M^2 \sigma T^4,$$

где L – светимость Солнца, R_M – расстояние от Солнца до Марса, r_M – радиус Марса, σ – постоянная Стефана-Больцмана, T – равновесная температура Марса, A – альбедо Марса.

Известно, что $\frac{L}{4\pi R_3^2} = 1366$ Вт/м², где R_3 – это расстояние от Солнца до Земли.

Соответственно: для древнего Марса:

$$\frac{L}{4\pi R_M^2} = 0.75 \frac{L}{4\pi R_3^2} \frac{R_3^2}{R_M^2} \times 1366/1.524/1.524 = 441 \text{ Вт/м}^2.$$

Предположим, что альбедо Марса равно 0. Это означает, что Марс поглощает всю солнечную радиацию.

Тогда равновесная температура древнего Марса = $(441/4/\sigma)^{1/4}$ К = 210 К или $210 - 273 = -63$ градуса цельсия.

Это очень низкая температура (настолько низкая, что нужно предполагать очень сильный парниковый эффект, чтобы существенно повысить температуру), при которой вода может существовать только в виде льда, а не жидкой воды!

Вопрос 6 (10–11 классы)

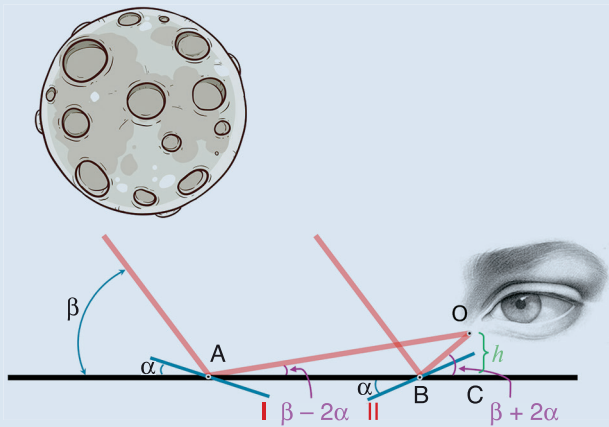
При гладкой водной поверхности Луна отражается от водной глади, как от зеркала, и дорожки не возникает. Лунная дорожка появляется из-за ряби на воде. Длина и ширина лунной дорожки зависят от угловой высоты Луны над горизонтом, от высоты и длины волн, а также от высоты глаз наблюдателя над поверхностью воды.

Для объяснения формы лунной дорожки и оценки ее длины представим рябь на воде в виде множества зеркал, ориентированных произвольно и имеющих угол наклона к горизонту от 0 до α . Пусть угловая высота Луны над горизонтом β , а глаза наблюдателя находятся на высоте h над уровнем воды. Длина лунной дорожки определяется водной рябью, которая идет перпендикулярно направлению на Луну. Иными словами, она формируется крайними положениями «зеркал» при повороте относительно оси, перпендикулярной направлению на Луну, на угол α по или против часовой стрелки (положения I и II на рисунке ниже). Тогда из прямоугольных треугольников AOC и BOC имеем: $AC = h \cdot \operatorname{ctg}(\beta - 2\alpha)$ и $BC = h \cdot \operatorname{ctg}(\beta + 2\alpha)$.

Длина лунной дорожки равна $AB = h \cdot \sin(4\beta) / \{\sin(\beta - 2\alpha) \sin(\beta + 2\alpha)\}$.

Если Луна находится на угловой высоте $\beta > 2\alpha$, то лунная дорожка имеет конечную длину. Если $\beta < 2\alpha$, то лунная дорожка начинается от самого горизонта.

Ширина лунной дорожки определяется рябью, которая идет вдоль направления на Луну. При этом угол отражения лунного света очень слабо зависит от угла наклона «зеркала», поэтому только при небольших смещениях таких зеркал влево-вправо от направления на Луну отраженный свет может попасть в глаз наблюдателя и дорожка получается достаточно узкой.

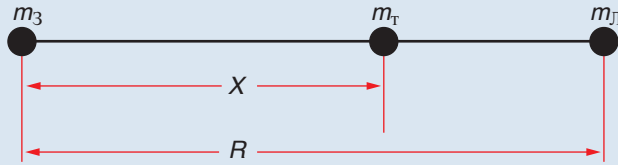


Ответ на дополнительный вопрос:

На рисунке задания изображена картина выдающегося русского художника Ивана Айвазовского «Лунная дорожка», 1841 г. Картина в настоящее время находится в Феодосийской картинной галерее им. И. К. Айвазовского (Феодосия, Крым). <https://feogallery.org>

Сюжеты значительной части картин Айвазовского связаны с Черным морем, побережьем Крыма. Часть работ посвящена Турции. Здесь на картине изображен большой прибрежный город с большим количеством минаретов, что, скорее всего свидетельствует об изображении одного из крупных турецких портовых городов, возможно, Стамбула (до 1930 г. – Константинополь).

Вопрос 7 (8–9 классы)



m_3 – масса Земли; $m_Л$ – масса Луны; m_T – масса тела

$$F = G \frac{m_3 m_T}{x^2}, \quad F = G \frac{m_T m_Л}{(R - x)^2},$$

$$F_3 = F_Л,$$

$$G \frac{m_3 m_T}{x^2} = G \frac{m_Л m_T}{(R - x)^2},$$

$$\frac{m_3}{x^2} = \frac{m_Л}{(R - x)^2},$$

$$\frac{m_3}{m_Л} = \frac{x^2}{(R - x)^2}.$$

Решение № 1

$$\sqrt{\frac{m_3}{m_Л}} = \frac{x}{R - x},$$

$$R = x \left(\sqrt{\frac{m_Л}{m_3}} + 1 \right),$$

$$x = \frac{R}{\sqrt{\frac{m_Л}{m_3}} + 1} - \text{расстояние от } m \text{ до Земли.}$$

Если принять в расчет, что $m_3 = 81m_Л$:

$$x = \frac{R}{\sqrt{\frac{m_Л}{81m_Л}} + 1} = \frac{R}{\sqrt{\frac{1}{81}} + 1} = \frac{9}{10} R.$$

Решение № 2

$$x m_Л = m_3 (R^2 - 2Rx + x^2),$$

$$x^2 (m_Л - m_3) + 2R m_3 x - m_3 R^2 = 0,$$

$$D = 4R^2 m_3^2 + 4m_3 R^2 (m_Л - m_3) = 4R^2 m_3 m_Л,$$

$$x_1 = \left| \frac{-R m_3 + R \sqrt{m_3 m_Л}}{m_Л - m_3} \right|, \quad x_2 = \left| \frac{-R m_3 - R \sqrt{m_3 m_Л}}{m_Л - m_3} \right|.$$

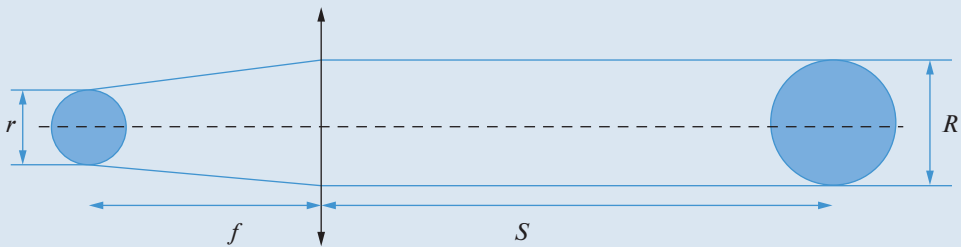
Вопрос 8 (10–11 классы)

Астроном запечатлел момент появления Марса после затмения Луной 8 декабря 2022 года. Полная Луна затмила Марс в момент его противостояния – так астрономы называют время, когда сблизившиеся Земля и Марс выстраиваются в одну линию с Солнцем, при этом Марс и Солнце (наша планета находится посередине) противостоят друг другу.

Поскольку Луна и Марс расположены очень далеко от объектива, можно считать их расположенными на бесконечном расстоянии. Данное предположение означает, что изображение будет в фокальной плоскости линзовой системы, что можно описать формулой:

$$\frac{R}{r} = \frac{S}{f'},$$

где R – это настоящий размер объекта, r – размер объекта, полученный в процессе съемки, S – расстояние до объекта, f – фокальное расстояние (см. рисунок ниже).



Соответственно получаем расчеты для Луны:

$$\frac{R_L}{r_L} = \frac{S_L}{f} \Rightarrow f = \frac{S_L \cdot r_L}{R_L},$$

Для Марса:

$$\frac{R_M}{r_M} = \frac{S_M}{f} \Rightarrow f = \frac{S_M \cdot r_M}{R_M}.$$

Приравняем правые части и получаем:

$$\frac{S_L \cdot r_L}{R_L} = \frac{S_M \cdot r_M}{R_M} \text{ или } \frac{S_L}{S_M} \cdot \frac{r_L}{r_M} = \frac{R_L}{R_M}.$$

Используем известные значения:

Возьмем расстояние от Земли до Луны в апогее $S_L = 405\,870.4$ км, т. к. Луна была в апогее 12 декабря 2022 года, радиус Марса $R_M = 3396$ км и радиус Луны $R_L = 1735$ км.

Так как для расчетов достаточно найти отношение $\frac{r_L}{r_M}$ размера объектов, полученных в процессе съемки, рассчитаем его, используя снимок. Для этого проведем к Луне две касательные и от точек касания построим перпендикуляры к центру Луны. Точка пересечения перпендикуляров будет являться центром Луны, а длина перпендикуляра – его радиусом.

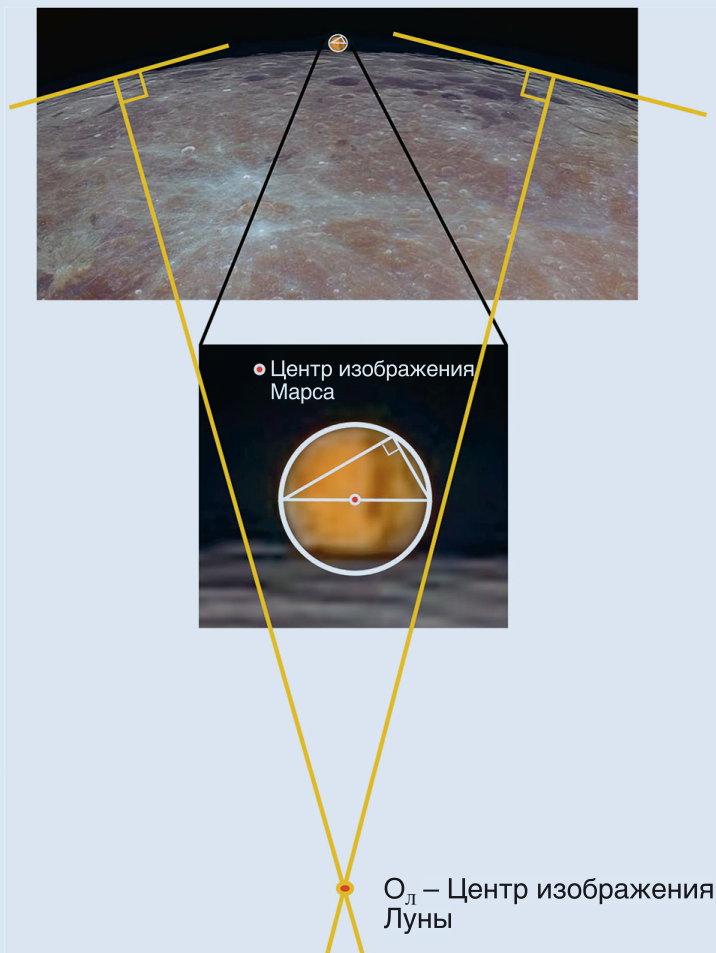
Чтобы найти радиус изображения Марса, впишем в него прямоугольный треугольник, тогда гипотенуза будет являться диаметром. Получаем радиус Луны: $r_L = 33.4$ см при масштабе 150% страницы Word (см. рисунок ниже), радиус Марса: $r_M = 3.25$ мм = 0.325 см при тех же параметрах страницы.

Выразим S_M , подставим все значения в уравнение и найдем расстояние до Марса:

$$S_M = S_L \cdot \frac{r_L}{r_M} \cdot \frac{R_M}{R_L} = 405\,870\,400 \text{ м} \cdot \frac{33.4}{0.325} \cdot \frac{3\,396\,000 \text{ м}}{1\,735\,000 \text{ м}} \approx \\ \approx 81\,642\,949\,835 \text{ м} \approx 82 \text{ млн км.}$$

Поскольку нам известна точная дата фотографии 08.12.2022, можно сравнить полученный результат с точными данными астрофизических наблюдений. На сайте <https://theskylive.com/planetarium> можно найти точные данные о планетах по состоянию на определенную дату. Для Марса на 08.12.2022 находим значение реального расстояния от Земли до Марса на эту дату: 82.25 млн км, что с хорошей точностью совпадает с нашим результатом. Отличие связано с погрешностью определения в нашем решении диаметров Марса и Луны.

Ответ: Расстояние от Земли до Марса во время фото составляет примерно 82 млн км.



Вопрос 9 (10–11 классы)

В рамках исследований этой проблемы был реализован проект DART (Double Asteroid Redirection Technology). Проект включал в себя запуск космического аппарата массой 500 кг к двойному астероиду Дидимос и Диморфос. Это пара астероидов, которые вращаются около центра масс в плоскости, близкой к плоскости эклиптики. При этом массы астероидов заметно отличаются: Диморфос меньше Дидимоса (по массе примерно в 100 раз).

Концепция эксперимента заключалась в выведении космического аппарата на траекторию столкновения с меньшим астероидом – Диморфосом, который хотя и меньше Дидимоса, но все равно по массе существенно больше космического аппарата. Не нужно объяснять, почему был выбран меньший астероид: чем меньше объект удара, тем больше изменится его скорость. Перед столкновением параметры орбит, участвующих в этой операции небесных тел, определялись с максимальной возможной точностью, как и после столкновения. Цель эксперимента была в том, чтобы понять физику удара именно по изменению скорости в результате удара. И эта физика не очень простая. Хотя, если рассматривать процесс в рамках механики, то (и это тоже простейший случай) можно взять два крайних случая: идеально упругий удар и идеально вязкий удар. Заметим, что разница в изменении скорости астероида для этих случаев почти в два раза (задача, а во сколько раз точно).

И еще задача: какие параметры системы аппарат – астероид сохраняются в этой постановке, а какие изменяются, и как. И еще вопрос: как получить максимальную точность в определении изменений параметров орбиты Диморфоса.

Следует отметить, что ответ на этот вопрос достаточно далеко выходит за пределы требований к уровню подготовки школьников в области физики. Но вот ответ на этот вопрос.

Система двойного астероида движется довольно замысловато, и об этом говорилось в самом начале выше. И это похоже на движение пары Земля–Луна вокруг Солнца. В этой паре Земля и Луна вращаются около центра масс системы, а центр масс вращается около Солнца. Для тех, кто забыл или никогда не знал, это так называемая задача трех тел. И она не решается в квадратурах. То есть эта задача определено не для школьников. Но она решается численным интегрированием дифференциальных уравнений движения этих тел. Легко. И она была решена. Полученное решение показало, что период движения этой пары около общего центра масс изменился в результате удара на примерно 12 минут. Вполне осязаемая величина. И хорошо изменяемая. Для чего и выбиралась пара, а не одиночный астероид.

*Дополнительно задачу рассмотрел и предложил свое авторское решение профессор кафедры электронных измерительных систем Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» **Решетов Владимир Николаевич**, за что оргкомитет викторины выражает огромную благодарность. Решение приводится далее.*

По условию задачи мы имеем дело со сложным движением и точное решение данной задачи возможно только численным методом. В рамках школьной программы возможна разработка стратегии борьбы с астероидной опасностью и обозначения ряда подводных камней при попытке остановить двойной астероид.

Для предотвращения катастрофы нам надо сделать так, чтобы астероид и Земля не встретились... Земля большая и с ней мы ничего сделать не можем. Астероид маленький и наверняка есть способ сбить его с намеченного им пути.

Увидели мы его, когда до Земли было еще очень далеко и поэтому мы пренебрежем всякого рода нелинейными эффектами гравитационного взаимодействия и не будем использовать законы Кеплера.

Базовым подходом будет линейная модель поведения астероида после его столкновения с нашим желанием изменить его траекторию. При таком подходе полагая, что он летит лишь слегка по измененной траектории после взаимодействия с космическим тараном, рассмотрим два способа избежать Армагеддона.

То есть проанализируем два варианта решения:

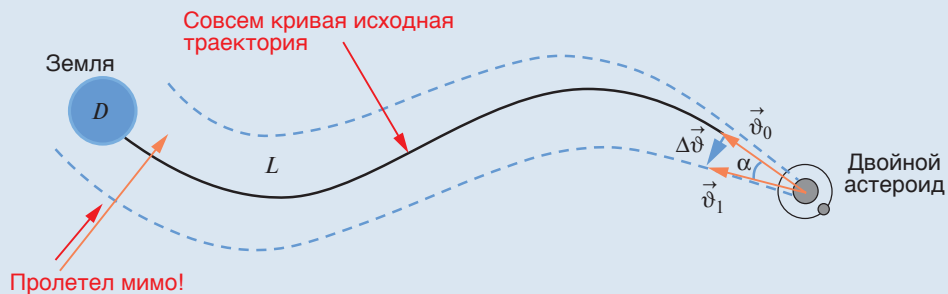
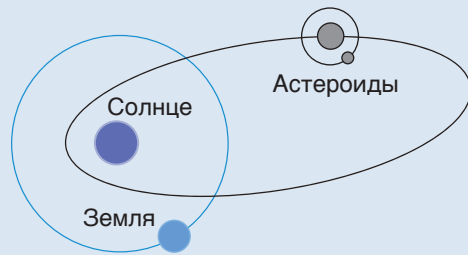
Отклонить траекторию астероидов, чтобы они пролетели мимо Земли.

Притормозить или ускорить их (при таком раскладе Земля уйдет с траектории удара за счет своего движения вокруг Солнца).

Понятно, что и отклонение, и торможение изменяют траекторию, но такие приближения существенно упрощают решение поставленной задачи.

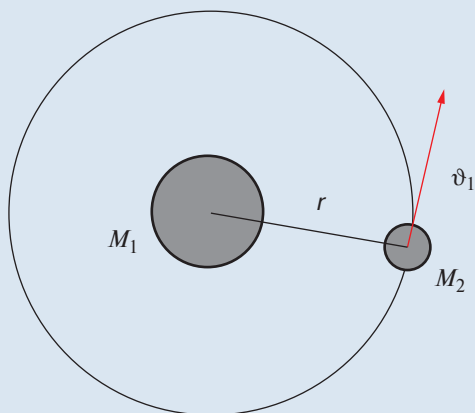
Решать данную линейаризованную задачу в системе отчета, связанной с Солнцем или центром масс нашей галактики не очень рационально.

Поэтому переходим в систему отчета, связанную с Землей. Траектория движения в ней будет достаточно замысловата, как и движение планет на фоне звездного неба, при наблюдении Вселенной с нашей родной Земли. Но нас это в данном случае не должно сильно беспокоить. Мы ищем поправки к исходной траектории пренебрегая влиянием реальной гравитации на наши поправки. Понятно, что эти поправки будут величинами уже второго порядка по отношению к поправкам первого порядка, рассматриваемых нами. (Ряды Тейлора помните?)



В этой системе отсчета в первом случае воздействие космического тарана на астероид при условии малого возмущения будет перпендикулярно скорости двойного астероида и если мы оказываем воздействие на расстоянии L при диаметре Земли D , то требуемый для устранения опасности угол отклонения

$$\alpha \sim \frac{D}{L} = \frac{\Delta v}{v_0}. \quad (1)$$



Здесь: D – диаметр Земли, L – расстояние на котором атакуем астероид, α – угол отклонения после удара, ϑ_0 – скорость двойного астероида, M_1 – масса большого астероида, M_2 – масса малого астероида, r – радиус орбиты астероида M_2 при его вращении вокруг M_1 , m – масса атакующего космического корабля, ϑ_m – скорость таранящей массы m , G – гравитационная постоянная.

Тот факт, что астероид двойной ставит нас перед фактом разрушения этой двойной системы и отклонении одного из астероидов от столкновения при падении второго в Землю.

Первая космическая скорость для двойного астероида: с радиусом орбиты r и массами M_1, M_2

$$\vartheta_1 = \sqrt{G \frac{M_1 + M_2}{r}} \approx \sqrt{G \frac{M_1}{r}}.$$

Вторая космическая скорость

$$\vartheta_1 = \sqrt{2} \cdot \vartheta_1.$$

Соответственно, если мы бьем по одному из астероидов, то важно, чтобы второй не оторвался от него. Поэтому бить надо по большому, поскольку изменение его скорости будет меньше и удар надо наносить в тот момент, когда его спутник летит в ту же сторону куда мы хотим отклонить астероид. Тогда вероятность разрушения системы будет минимальна.

Разрушение будет возможно если $\Delta\vartheta > (\sqrt{2} - 1) \cdot \vartheta_1$, т. е. с учетом приведенных выше формул

$$\vartheta_0 \cdot \frac{D}{L} > \sqrt{G \frac{M_1}{r}}.$$

Важно! По маленькому астероиду бить не надо!!! Ни при каких обстоятельствах, так как нам надо увести от столкновения всю эту связанную гравитацией систему. Если условие не отрыва не выполняется – надо два тарана и с этим ни чего нельзя сделать при импульсном воздействии. Плавный увод пары астероидов с использованием космического буксира ЗЕВС лишен данного недостатка, но это отдельная тема.

Рассмотрим энергетику процесса, чтобы уяснить как надо бить и чем.

Кинетическая энергия тарана $E = \frac{m \cdot \vartheta_m^2}{2}$, его импульс $p = m \cdot \vartheta_m$.

Закон сохранения импульса для системы астероид плюс таран до и после столкновения:

$$\Delta\vartheta \cdot (M_1 + M_2) = m \cdot \vartheta_m.$$

Если $E = \text{const}$, то $\vartheta_m = \sqrt{\frac{2E}{m}}$ и переданный импульс $p = m \cdot \sqrt{\frac{2E}{m}} = \sqrt{2mE}$.

То есть, чем больше масса, тем больше эффект от соударения при одном и том же значении энергии E . Получается немного странный результат – эффект получается тем больше, чем тяжелее таран, несмотря на то, что скорость его бокового удара при этом уменьшается...

Этот неожиданный результат заставляет нас вспомнить о том, что ударник после столкновения полетит вместе с астероидом, а значит замедлит скорость его приближения к земле в силу того же самого закона сохранения импульса, но у жен в проекции на направление движения астероида.

Тут все совсем отлично т. к. это скорость в системе отсчета, где Земля покоится и учитывая тот факт, что после неупругого удара масса m приобретает скорость $\vartheta' \approx \vartheta_0$ получаем:

$$\Delta p = m \cdot (|\vartheta_0| + |\vartheta_m|).$$

Это обстоятельство провоцирует нас на лобовое столкновение. Так как при этом изменение импульса Δp максимально – мы замедляем астероид, и он изменяет траекторию в поле тяжести Солнца, а в нашей системе отчета просто дольше летит до Земли и значит может с ней и не встретиться.

Тут надо снова мысленно вернуться в систему отчета связанной с Солнцем и вспомнить, что замедление – это изменение траектории, в системе отчета связанной с Землей кажется, что это ничего не меняет и от просто попозже прилетит на Землю. Но интуитивно понятно, что это не так и можно оценить данный эффект, как бы повиснув между двумя системами отчета – одна нога там другая здесь... Это нестрогие, но правдоподобные рассуждения.

Если ϑ – замедление после соударения, то надо чтобы отставание по траектории превысило диаметр Земли:

$$\Delta\vartheta \cdot T > D \Rightarrow \Delta\vartheta \cdot \frac{L}{\vartheta_0} > D \Rightarrow \Delta\vartheta > \Delta\vartheta_0 \cdot \frac{D}{L} \quad (!!! \text{ см (1)}), \quad (2)$$

где T – время полета $T = \frac{L}{\vartheta_0}$.

Оказывается, что эти типы воздействия как бы эквивалентны друг другу с точки зрения влияния изменения скорости астероида на Армагеддон.

Итого при боковом ударе:

$$\frac{\Delta\vartheta}{\vartheta_0} > \frac{D}{L} \text{ и } mV_m = (M_1 + M_2) \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \Delta\vartheta = \frac{mV_m}{M_1 + M_2}$$

(здесь не учтено присоединение массы тарана), получаем:

$$mV_m > \vartheta_0(M_1 + M_2) \cdot \frac{D}{L};$$

При лобовом ударе:

$$\Delta\vartheta \cdot \frac{L}{\vartheta_0} > D \text{ и } m \cdot (\vartheta_m + \vartheta_0) = (M_1 + M_2) \cdot \Delta\vartheta \Rightarrow \Delta\vartheta = \frac{m \cdot (\vartheta_m + \vartheta_0)}{M_1 + M_2}.$$

Получаем условие отклонения астероида от Земли:

$$m \cdot (\vartheta_m + \vartheta_0) > \vartheta_0 \cdot (M_1 + M_2) \cdot \frac{D}{L}. \quad (*)$$

Вопрос, что лучше замедление или отклонение? Тут важно понять, что нанести сильный боковой дар достаточно сложно и реально скорость сближения астероида и тарана будет близка к скорости астероида. В системе отсчета связанной с землей космический корабль будет почти покоиться при условии максимизации массы ударника. Совсем покоиться он не может так как ему надо ПОПАСТЬ в астероид, но эта скорость точно будет мала...

Вывод: удар должен быть лобовым и максимально возможной массы. Абсолютная скорость объекта не имеет значения, так как, скорее всего, $\vartheta_0 \gg \vartheta_m$. При заданной энергии удара $\frac{m \cdot \vartheta_m^2}{2}$ лучше брать большую массу. Речь идет о движении в системе отсчета, где Земля покоится!

Далее неплохо бы воспользоваться формулой Циолковского, которая определяет скорость, которую может развить летательный аппарат под воздействием тяги ракетного двигателя. Для неизменной по направлению тяги при отсутствии всех других сил имеем

$$\vartheta = I \cdot \ln \frac{m}{M},$$

где ϑ – конечная скорость летательного аппарата, I – удельный импульс двигателя, m – начальная масса, M – конечная масса.

Примем, что $I \sim \vartheta_{\text{Л}}$ – скорость истечения реактивной струи:

$$\vartheta_m = \vartheta_{\text{Л}} \cdot \ln \frac{m}{M}$$

Реально ϑ_m должна быть больше второй космической скорости для Земли.

Оптимальная стратегия ударного воздействия:

1. Лобовой удар в большой астероид
2. Максимально далеко от Земли
3. Максимально возможной массой тарана.

Эффективность воздействия оцениваем по формуле (*).

В реальности с использованием современных ракет и даже строящегося космического буксира Зевс надежд на успех в отклонении астероида размером 100 метров у нас пока нет.

Однако мы далеко не безоружны перед астероидной опасностью – у нас есть и не мало термоядерных бомб.

Если возможно испарение или выбрасывания вещества астероида и использование его для изменения траектории, то стратегия немного изменяется, и надежда на успех появляется.

В этом случае оптимальной будет стратегия долговременного выброса вещества перпендикулярно траектории движения астероида. Это крайне трудно осуществить из-за вращения астероида. Однако, если установить плазменный двигатель на полюсе большого астероида и начать испарять вещество в окружающее пространство или запустить на полную мощность десяток разрабатываемых сегодня государственной

корпорацией Росатом плазменных двигателей с тягой в несколько килотонн и запитать это все от атомной установки мощностью 5 МВт космического буксира ЗЕВС, доставившего все это снаряжение на астероид, то шансы спастись резко повышаются.

Оставим расчет эффективности такого подхода для домашнего рассмотрения. Укажем только, что за год работы, т. е. 30 миллионов секунд, космическая ядерная установка сможет предоставить в распоряжения роботов-спасателей примерно 10^{14} Дж энергии, что эквивалентно взрыву ядерного заряда в 25 килотонн в тротиловом эквиваленте. То есть не так уж и мало...

Сделаем прикидки эффективности ядерного взрыва бомбочки в 25 мегатонн в плане отклонения астероида размером в 1 км и массой несколько миллиардов тонн, перехваченного на расстоянии 10 миллионов км от Земли. Это совсем рядом, учитывая, что диаметр орбиты Земли 150 миллионов километров

Энергия, выделяющаяся при взрыве такой термоядерной бомбы:

$$25 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot 4 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 10^{17} \text{ Дж}.$$

Удельную теплоту испарения твердых веществ примем $5 \cdot 10^7$ Дж/кг, скорость истечения образовавшихся в процессе испарения газов с температурой 5 тысяч градусов положим равной 2 км/с. В этом случае, если взрывы будут «правильными» и хорошо испарят вещество, то в газ превратится два миллиона тонн астероидного вещества, и они унесут импульс, достаточный для сообщения астероиду поперечной скорости 40 мм/с. Принимая диаметр Земли 10 тыс. км, а скорость астероида 40 км/с, для необходимого угла отклонения получаем 10^{-6} .

$$m = \frac{10^{17} \text{ Дж}}{5 \cdot 10^7 \text{ Дж/кг}} = 2 \cdot 10^9 \text{ кг} = 2 \cdot 10^6 \text{ т},$$

$$m \vartheta_m = 2 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^9 = 4 \cdot 10^{12} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$\frac{D}{L} = 10^{-6}, \quad \vartheta_0 = 40 \frac{\text{км}}{\text{с}} \Rightarrow \Delta \vartheta = 40 \cdot 10^{-3} \text{ м/с} = 40 \text{ мм/с},$$

$$L = 10 \text{ млн км} = 10^7 \text{ км},$$

$$m \vartheta_m = M \Delta \vartheta \Rightarrow M \cdot 4 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{12} \text{ кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$\Rightarrow M = 10^{14} \text{ кг} \Rightarrow \text{астероид размером несколько километров.}$$

Понятно, что ядерный взрыв будет не стопроцентно эффективен и далеко не вся энергия уйдет на испарение вещества, да и разлетаться оно будет как попало. Но, учитывая, что запас ядерных бомб на Земле сейчас около десяти тысяч, и суммарное выделение энергии для данного вида вооружения превышает десять миллиардов тонн в тротиловом эквиваленте, перспектива использовать заготовки для земного Армагеддона как средство предотвращения космического астероидного нашествия выглядит очень даже реалистично.

РЕЗОЛЮЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО КОСМИЧЕСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ «ДОРОГА В КОСМОС»»

1–5 октября 2024 г. состоялась очередная Международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос». Главной целью организаторы конференции поставили объединение профессионального сообщества людей, занимающихся образованием, просвещением и популяризацией ракетно-космической отрасли и космической науки. В ходе конференции активно обсуждались лучшие практики и насущные проблемы космического образования в нашей стране на всех уровнях и в разных сферах, от специализированных образовательных учреждений до популярных СМИ и фантастического кинематографа.

Секции конференции:

1. Космическое образование и освоение космоса: от наноспутников до пилотируемых станций
2. Научно-образовательные космические аппараты. Малые спутники
3. Опыт и перспективы использования МКС в интересах космического образования

4. Роскосмос: программы повышения квалификации
5. Взаимодействие государства и бизнеса в космическом образовании школьников и студентов
6. Международное сотрудничество в области космического образования
7. Базовые кафедры и университетские лаборатории
8. Космическое образование для школьников: кружки и уроки астрономии
9. Популяризация в СМИ и космическое просвещение
10. Космос в литературе и искусстве
11. Мобильность космического образования
12. Электронные и дистанционные формы космического образования
13. История космического образования. Космические музеи
14. Образование в российских университетах в области космического права

В пленарных и секционных заседаниях приняли участие более 400 докладчиков и гостей конференции. Опубликован Сборник материалов участников конференции (ИКИ РАН, 2024).

Конференция констатировала:

Доклады участников и обсуждения еще раз подтвердили, что интерес российского общества к астрономии, наукам о космосе и космическим технологиям есть, как в образовательном смысле («спрос» на образовательные





Сайт конференции *roadtospace.cosmos.ru*

программы, посвященные спутникам, ракетостроению и космической физике), так и в общепопулярном (интерес к научно-познавательному контенту и научно-развлекательным мероприятиям). Более того, в последние годы он растет, хотя и пока недостаточно интенсивно, что объясняется, отчасти, отсутствием возможностей удовлетворить этот интерес. В частности, участники отметили нехватку планетариев в России, которые в силу своей специфики могут выступать и как образовательно-просветительские, и как развлекательные центры.

Известно, что становление и развитие астрокосмического и аэрокосмического образования (АКО) шло высокими темпами в советские годы, особенно в 1960-е – первые годы космической эры. Известные научно-педагогические школы АКО детей и молодежи возникли в Москве (Московский дворец пионеров на Ленинских горах), в Ленинграде (Ленинградский дворец пионеров), в Саратове (Саратовский аэрокосмический лицей), Калуге, Новосибирске, Нальчике, и др. К сожалению, за последние 30 лет многие из этих школ разрушились именно как образовательные институты. Хотя восстановить их в прошлом виде вряд ли возможно (и нужно), необходимо исследовать их педагоги-

ческое наследие, чтобы обобщить и использовать богатейший опыт, накопленный за десятилетия работы этих школ.

Сегодня романтика космических полетов и исследований ушла в прошлое. Это объективный процесс, который затрагивает всех участников космической деятельности во всем мире. Происходит поиск новых целей и задач освоения космоса. К сожалению, поиск новых целей часто заменяется празднованием юбилеев прошлых достижений. Это хорошо само по себе, но очевидно недостаточно для того, чтобы заинтересовать космосом молодежь.

Молодежь не так охотно идет учиться в некогда престижнейшие вузы, занимающиеся космической тематикой, многие студенты после обучения не остаются работать в космической отрасли: становится некому передавать знания, опыт, культуру, традиции; разрывается связь поколений, утрачиваются уникальные знания.

Однако есть и изменения к лучшему, и связаны они во многом с использованием новых образовательных форматов и новых технологий. Проводятся летние школы, различные мероприятия для студентов и школьников, среди которых отдельно хочется сказать о Ракетно-космической школе «Кансат», Летней космической школе, развивающемуся кружковому и олимпиадному движению.

Но принципиально важно, что при этом, как было отмечено и на предыдущих конференциях, в России последовательно деградирует астрономическое и аэрокосмическое образование в системе основного и дополнительного образования детей. Астрокосмическое и астрономическое образование держится на энтузиастах и подвижниках. Их много: реализуются интереснейшие проекты создания любительских спутников, исследования верхних слоев атмосферы, вовлечения школьников и молодежи в изучение и технические разработки

в различных областях космических технологий. Энтузиасты прививают детям любовь к астрономии, ракетостроению, истории нашего космоса, публикуют научно-популярные книги и читают лекции.

«Горизонтальный уровень» популяризации важен и необходим. Но такие проекты и мероприятия имеют «точечный» характер, часто без серьезной материальной базы, финансовой, информационной и технической поддержки, на незначительные собственные или спонсорские средства. Далеко не все дети имеют возможность попасть в такого рода проекты без соответствующей подготовки, которую могла бы дать средняя школа, и, соответственно, не могут конкурировать в олимпиадах и конкурсах с теми сверстниками, кому посчастливилось учиться в «правильной» школе или быть знакомым с таким энтузиастом.

Итак, с одной стороны, без содействия государства, без помощи, утвержденной на самом высоком уровне, движение энтузиастов не сможет развиваться и, в конце концов, угаснет. С другой стороны, без включения элементов АКО в программы среднего общего образования нельзя ожидать массового всплеска интереса молодежи к этой отрасли.

Развитая ракетно-космическая отрасль – одна из важнейших основ могущества ведущих мировых держав. Наша страна всегда была признанным лидером в этой области. Чтобы сохранить это лидерство в сегодняшней конкурентной обстановке, крайне необходимо поддерживать в обществе интерес к этой теме, а у молодых людей – пробуждать желание непосредственно участвовать в этой работе и стремиться к новым достижениям.

В космическую отрасль приходят молодые люди, со школьной скамьи увлеченные космосом, а это увлечение часто рождается вместе с интересом к астрономии и космической науке. Именно с этого увлечения начинается

дорога в космос не только будущих космонавтов, но и будущих инженеров, конструкторов, технологов в области космической промышленности. Главная роль в сохранении и развитии этого интереса у школьников к выпускному классу принадлежит хорошему учителю. Но уже несколько десятилетий ни один педагогический вуз не готовит учителей по специальности «астрономия», лишь кое-где есть отдельные программы по некоторым астрономическим дисциплинам, причем только в магистратуре. На уровне бакалавриата астрономии в учебных программах нет, но именно выпускники-бакалавры идут в школу, магистранты редко становятся школьными учителями.

За последние 60 лет астрономия и науки о космосе развивались и развиваются очень высокими темпами. Классический школьный курс астрономии, который, к сожалению, в прошлое десятилетие исчез из школьной программы, требует обновления. Представляется, что его нужно заменить на курс, охватывающий, кроме самой астрономии и небесной механики, такие области как основы спутниковых наблюдений и обработки спутниковых данных, устройство спутников и ракетной техники, роль человека в космосе, навигационные системы и многое другое. Без такого комплексного курса не может быть полным и просто развитие современного человека и становление его мировоззрения.

Научные и технологические эксперименты на Международной космической станции (МКС), в которых могут участвовать не только студенты, но и школьники, являются важным элементом современного космического образования и обеспечивают благоприятную основу для формирования новых фундаментальных знаний и развития прорывных технологий. Но научная программа Российского Сегмента (РС) МКС в целом недостаточно

эффективна и результативна (в этом отношении она заметно уступает научным программам других участников соглашения по МКС). По отзывам многих участников, препятствием к ее эффективности и результативности является действующий порядок подготовки, планирования и проведения исследований на РС МКС, закрепленный требованиями ГОСТ Р 52017-2023.

Согласно этим требованиям, действующая система научно-прикладных исследований на пилотируемых космических комплексах (НПИ на ПКК) построена излишне формально и во многих случаях противоречиво, представляя процесс научного поиска как набор разрозненных формальных процедур или «мероприятий». Требования ГОСТ нуждаются в глубоком качественном пересмотре, направленном на перестройку системы НПИ на ПКК в пользу ее научной результативности, логичности, прозрачности и предсказуемости.

Космонавтике очень нужна общественная поддержка, которую можно получить, только если о ее результатах будут знать самые широкие слои населения. Таким образом, необходима популяризация космических достижений с помощью традиционных и новых средств массовой информации.

В то же время медиаиндустрия, маркетинговые и рекламные организации нуждаются в применении новых, нестандартных средств и носителей, в том числе тех, которые могут быть осуществлены с помощью технических средств авиакосмической промышленности.

Конференция решила:

1. Обратиться в Министерство просвещения РФ с предложением о введении в курс средней школы программы, объединяющей основы астрономии и космонавтики. Провести широкое обсуждение с участием представите-

лей Министерства просвещения Российской Федерации, ГК «Роскосмос», Совета РАН по космосу и Совета РАН по астрономии, Астрономического общества этой проблемы с учетом всех сложностей и недостатков «старого» школьного курса. Необходимо вернуть, в какой-либо форме, в Единый государственный экзамен по физике вопрос (или комплекс вопросов), связанный с базовыми знаниями по астрономии и космонавтике, а также рассмотреть возможность включения в Общий государственный экзамен по физике вопроса, требующего знаний астрономии.

2. Обратиться в Министерство науки и высшего образования РФ с предложением восстановить в педагогических вузах направление подготовки 44.03.05 «Педагогическое образование» (с двумя профилями подготовки) профиль «физика, астрономия»; восстановить в педагогических вузах учебные программы по астрономии, астрофизике, основам космических исследований, методике преподавания астрономии; рекомендовать организациям дополнительного профессионального образования привлекать к работе с учителями специалистов в области астрономической науки и вузовских преподавателей этого профиля; обязать экспертов-преподавателей организаций дополнительного профессионального образования, проводящих переподготовку учителей астрономии, проходить обучение на профильных курсах повышения квалификации в соответствующих вузах.

3. Систематизировать популяризацию космических исследований в РАН в координации с соответствующими службами ГК «Роскосмос». Предлагается использовать для этого как основу журнал Президиума РАН «Земля и Вселенная» (издается с 1965 г.), который целесообразно развивать как источник проверенной информации о текущем состоянии наших знаний о космосе и развитии

космических исследований в России и в мире. Рекомендовать Министерству просвещения РФ использовать этот журнал как пособие для учителей физики, педагогов дополнительного образования. Создать на базе журнала «Земля и Вселенная» раздел для учителей астрономии, знакомящий читателя с последними достижениями в астрофизике, космонавтике. Рекомендовать РАН и Министерству просвещения Российской Федерации проводить выездные занятия с использованием материалов журнала в базовых школах РАН.

4. На базе Ассоциации планетариев России провести ревизию имеющегося видео- и иллюстративного материала, используемого планетариями. Создать каталог малых и частных планетариев России и рекомендовать им использовать качественный просветительский контент, получивший одобрение Ассоциации планетариев, профильных министерств и РАН. Рекомендовать включение программ, одобренных Ассоциацией планетариев, в перечень материалов для показа в учебных заведениях.

5. Рассмотреть вопрос о создании интернет-ресурса «Космическое образование» под эгидой ИКИ РАН и, возможно, на основе сайта конференции «Дорога в космос». Необходимость в ресурсе, ориентированном именно на астрономию и космические исследования, давно назрела. Он необходим как для развития этого важного направления, так и для популяризации космонавтики и космических исследований вообще. Такой ресурс станет открытой образовательной средой для преподавателей, учителей, воспитателей, молодежи разных возрастов, а также всех интересующихся освоением космоса. В разделах ресурса могут публиковаться не только материалы конференции, но также: рецензируемые методические материалы и статьи по космическому образованию; предложения; информация о текущих работах, про-

водимых энтузиастами и организациями; мультимедийные материалы. Также будет перспективной организация консультаций для школьников и студентов, занятых проектной работой и/или интересующихся вопросами, связанными с космосом. Такой ресурс может стать всероссийской и международной площадкой для молодежных конкурсов.

6. Обратиться в Министерство просвещения и Министерство науки и высшего образования для привлечения образовательных учреждений к разработке предложений по реализации научных и научно-образовательных экспериментов на борту РС МКС и Российской орбитальной станции (РОС) с организацией их последующего конкурсного отбора. Для реализации данных предложений по образовательным проектам создать постоянно действующую группу специалистов, в состав которой должны входить представители разработчиков и постановщиков космических экспериментов и преподаватели образовательных учреждений.

7. Обратиться в ГК «Роскосмос» с просьбой об изменении требований к подаче и действующего порядка подготовки образовательных экспериментов для проведения на РС МКС и РОС, в частности, пересмотреть требования ГОСТ для образовательных экспериментов. Рассмотреть опыт Самарского университета по проведению конкурса школьных экспериментов, предназначенных к постановке на борту МКС, для обобщения опыта, решения возникших проблем и дальнейшего использования.

8. Участники конференции признали опыт проведения очередной международной конференции по космическому образованию чрезвычайно успешным и поддерживают поведение таких конференций на регулярной основе раз в 2–3 года.

EARTH & UNIVERSE

5 (359), 2024

September–October

TABLE OF CONTENT:

Olga N. SOLOMINA Editorial	3
German S. KUST, Olga V. ANDREEVA, Vasily A. LOBKOVSKY To Reach Land Degradation Neutrality: On The Way To Overcome The Silent Crisis Of The Planet	5
Irina S. BUSHUEVA Alibek Glacier: Its Past and Its Future	18
Space Education	
Fourth Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Tasks. Part 2	22
People of Science	
Sergey G. KOROSTELEV Leonid Ksanfomality: Going Inside a Storm	26
Sergei I. IPATOV Timur Eneev Contribution To The Planetary Cosmogony	60
Amateur Astronomy	
Yuri V. SOLOMONOV, Sergey A. GERASYUTIN The Inconspicuous Lynx	67
Mikhail Yu. ASHCHEPKAU Blue Bursts Of Red Dwarfs	76
In Brief	
<i>Europa Clipper</i> En Route To Jupiter's System	86
Water In The Martian Subsurface Found	88
Literary Space	
Alexander S. MARUSEV, Anastasia G. GACHEVA, Anastasiia Yu. DUNAEVA Russian Cosmism In Music: The Epic Poem About Svyatogor	90
Space Education	
Fourth Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Answers. Part 2	93
Recommendations Of <i>The Road To Space</i> Third International Conference On Space Education	110

Cover image:

Alibek Glacier in Teberda valley, Western Caucasus. Photo by I. Bushueva, 2009

Индекс 38808

Земля и Вселенная, 5/2024

Заведующая редакцией А.Ю. Обод

Редакторы С.А. Герасютин, Д.А. Кононов, О.С. Сажина

Корректор С.О. Розанова

Верстка макета В.А. Сизова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

+7(495) 276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukapublishers.ru

по вопросам сотрудничества:

+7(495) 276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukapublishers.ru

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Подписано к печати 18.02.2025

Дата выхода в свет 07.03.2025

Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать

Усл.печ.л. 7.25

Уч.-изд.л. 9.4

Бум.л. 3.625

Тираж 190 экз.

Заказ № 1722

Цена свободная

Учредители: РАН, ФГБУ «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Отпечатано в типографии ФГБУ «Издательство «Наука»

Адрес: 121099, Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1



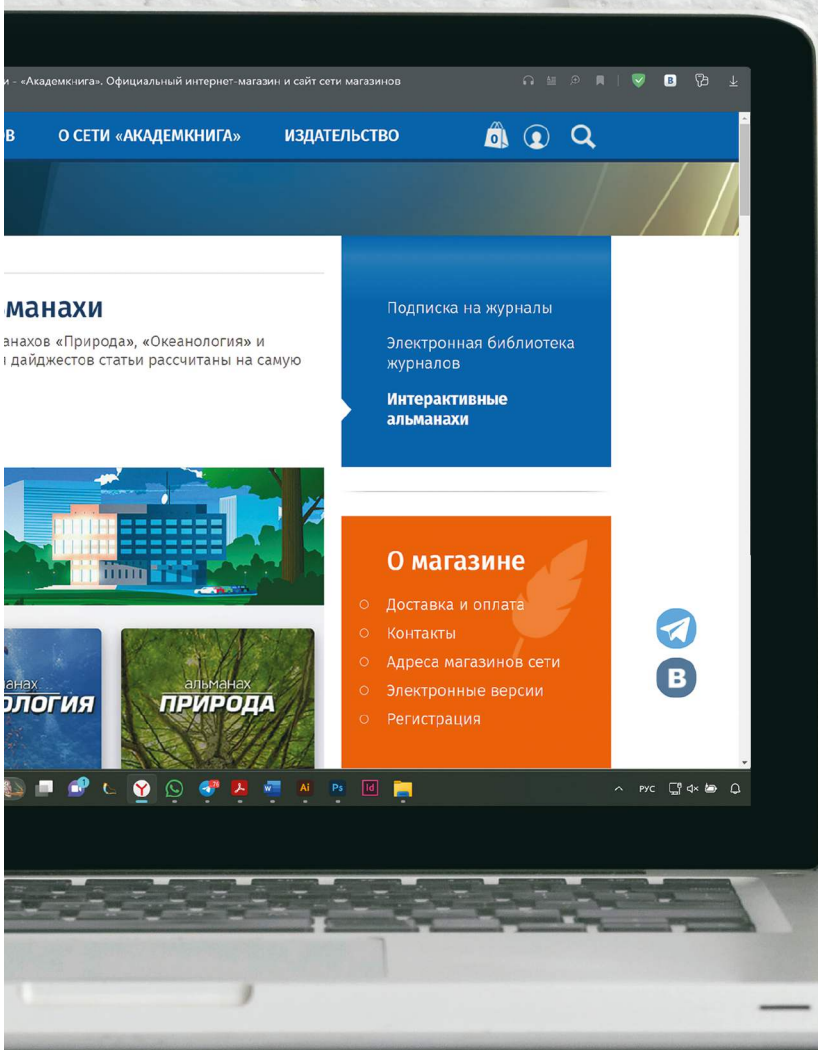
ПОКУПАЙТЕ ДЕШЕВЛЕ В ИНТЕРНЕТ-МАГАЗИНЕ ИЗДАТЕЛЬСТВА «НАУКА»



КНИГИ



ЖУРНАЛЫ



www.naukabooks.ru



НАУКА
— 1727 —



ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"

121099, г. Москва, Шубинский пер., д. 6, стр. 1

тел.: +7 (495) 276-77-35

info@naukapublishers.ru

naukapublishers.ru

ISSN 0044-3948



9 770044 394007